

Weiter auf dem Tapet

Elektromagnetische Umweltverträglichkeit im BOS-Digitalfunk

Jan Steuer, Christian Scherling,
Matthias Lampe

Seit über zehn Jahren wird die elektromagnetische Umweltverträglichkeit (EMVU) moderner Kommunikationstechniken kontrovers diskutiert. Trotz der mittlerweile umfassenden und systemischen Forschungsansätze und -ergebnisse, die keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen aufzeigen, sehen sich gerade die Projektorganisationen BOS-Digitalfunk der Länder einer ständigen Konfrontation gegenüber. Für eine bessere Diskussionsgrundlage gab die Projektgruppe Digitalfunk-BOS des Landes Brandenburg eine zusammenfassende Risikoanalyse in Auftrag.



Ergänzend zum Beitrag steht NET-Abonnenten das umfangreiche Literaturverzeichnis im Heftarchiv 9/13 unter www.NET-im-web.de zur Verfügung.

Dr.-Ing. Jan Steuer, Dr. Christian Scherling und Matthias Lampe sind Mitarbeiter der Dok System-Engineering-Gesellschaft für Kommunikationstechnik mbH in Garbsen

Rechtlich bindende Grenzwerte für den Mobilfunk in Deutschland sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) festgelegt, die aktuell durch den Gesetzgeber novelliert wurde [1]. Dabei wurden Bestrebungen einzelner Landesregierungen im Bundesrat, die international etablierten und wissenschaftlich zertifizierten Grenzwertbestimmungen hinsichtlich schweizer Anlagengrenzwerte zu verschärfen, abgewiesen. Dementsprechend wird national weiterhin dem etablierten Grenzwertkonzept der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) gefolgt. Sie empfiehlt Grenzwerte, die dann entsprechend in EU-Richtlinien und teilweise in nationales Recht umgesetzt werden. Derzeit ist eine Harmonisierung der Grenzwertbestimmungen innerhalb der EU nicht absehbar. Jedes Mitgliedsland scheint nationalen Gremien oder Interessensverbänden größeren Sachverstand beizumessen.

Es sei ausdrücklich darauf verwiesen, dass die 26. BImSchV keine Regelungen für mobile Endgeräte enthält. Regelungen und Grenzwerte für mobile Endgeräte sind für die Allgemeinbevölkerung in der nationalen Gesetzgebung nicht vorgesehen, diese finden sich ausschließlich in der Richtlinie 1999/519/EG. Im Rahmen des Arbeitsschutzes (ArbSchG: BGBl. I S. 1246) für Arbeitnehmer/Angestellte gilt die BGV B11 der jeweiligen gesetzlichen Unfallkasse (§15 SGB VII). Für den Arbeitnehmer lässt sich äquivalent zur BGV B11 die Richtlinie 2004/40/EG anwenden, die aber erst in den kommenden Jahren in nationales Recht umgesetzt wird. Grundsätzlich muss der Arbeitgeber die Exposition am Arbeitsplatz prüfen und eine Bewertung der Risiken vornehmen, wobei es ihm freigestellt ist, ob er dies durch Messung, Berechnung, über Herstelleran-

gaben oder durch Vergleich mit anderen gleichartigen Anlagen ermittelt.

Biologische Wirkung

Elektromagnetische Felder können mit biologischen Systemen auf unterschiedliche Art wechselwirken, was im Wesentlichen von der Frequenz, der Modulation und der Intensität der einwirkenden Felder abhängt. Das Energieniveau von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern bis zu einer Frequenz von 300 GHz (nicht-ionisierende Strahlung) ist generell zu gering, um Moleküle zu ionisieren. Daher sind direkte Veränderungen an biologischen Molekülen nicht möglich, wie sie z.B. durch energiereiche UV- oder Gamma-Strahlung ausgelöst werden. Dennoch können hochfrequente elektromagnetische Felder direkt oder indirekt auf den Körper wirken. Allgemein wird ihr Einfluss auf biologische Systeme durch die übertragene bzw. absorbierte Energiemenge, durch die Expositionsdauer und die Resonanz von Sender und Empfänger bestimmt. Hochfrequente elektromagnetische Felder werden durch den Körper oder durch Körperteile absorbiert, wodurch frequenzabhängig Moleküle in Schwingungs- und Rotationsresonanz versetzt werden und infolge von Reibungsverlusten Wärme entsteht. Dadurch kann es lokal oder im ganzen Körper zu Temperaturerhöhungen kommen.

Entscheidend für die Absorption von HF-Strahlung durch den menschlichen Körper ist die Frequenz. Im unteren HF-Bereich dringt die Strahlung wenig gehindert in den Körper ein. Bei 70 – 100 MHz besteht ein Absorptionsmaximum, und oberhalb 300 MHz nimmt die Eindringtiefe aufgrund kleiner Wellenlängen wieder ab [2]. Das heißt, im Tetra-Frequenzbereich (für die BOS bei ca. 380 MHz) erfolgt bedingt durch die Wellenlänge eine Oberflächenabsorption.

Expositionen von Tetra-Endgeräten

Dosimetrische Analysen wurden explizit für Tetra-Endgeräte am Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt [3], [4]. Für die Bewertung der Exposition durch mobile Endgeräte werden SAR-Werte mit Hilfe von numerischen Simulationsverfahren (z.B. FDTD – Finite Difference Time Domain) an anatomischen Körpermodellen modelliert, da SAR-Werte nicht im menschlichen Gewebe gemessen werden können. Aus den simulierten SAR-Verteilungen lassen sich dann unter teilweise vereinfachten Annahmen Temperaturerhöhungen für entsprechende Organe ableiten.

Es lässt sich feststellen, dass beim typischen Einsatz von Tetra-Funkgeräten im BOS-Netz bei einer effektiven Sendeleistung von 0,25 W die geltenden Grenzwerte deutlich unterschritten werden. Selbst in der Kalkulation mit einer nominellen Sendeleistung von 1 W lassen sich nur in extremen Szenarien (Kipplage der Antenne zum Kopf/

Spezifische Absorptionsrate

Die spezifische Absorptionsrate (SAR) entspricht der Dichte der Leistungsaufnahme im menschlichen Gewebe. Der erlaubte maximale Teilkörper-SAR-Wert beträgt für die Allgemeinbevölkerung 2 W/kg (Mittelung über 10 g Gewebe; Richtlinie 1999/519/EG). Wenn die Leistungsaufnahme unter diesen Grenzwerten liegt, ist nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft mit keinen gesundheitlich nachteiligen Effekten zu rechnen:

$$SAR = \frac{dP}{dm} = \sigma \frac{E^2}{\rho}$$

(P – elektromagnetische Leistung, m – Masse, E – Effektivwert der elektrischen Feldstärke, ρ – Dichte des Gewebes, σ – elektrische Leitfähigkeit).

Lokale oder Ganzkörper-Temperaturanstiege werden in vielen Studien durch die Biowärmegleichung von Pennes [5] berechnet.

Körper, geringer Abstand und Dauersenden) erhöhte SAR-Werte finden, die die Grenzwerte der beruflichen Exposition aber nicht überschreiten. Im typischen Sprachbetrieb der Handfunkgeräte ist dagegen nur von einer geringfügigen Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Felder für Menschen auszugehen (ein Viertel der nominellen Sendeleistung von 1 W). Der Vergleich der verschiedenen Trage- und Sprechweisen zeigte, dass der Abstand zwischen Funkgerät und menschlichem Körper entscheidend ist. Als ungünstigste Telefonierhaltung wird die Wangenlage mit Kontakt zur Ohrmuschel in Kipplage angesehen, da hier die Antenne dem Kopf sehr nahe kommt und somit höhere lokale SAR-Werte innerhalb der Grenzwerte erzeugen kann. Es empfiehlt sich ein Tragen in der Brusttasche, am Gürtel oder in Frontposition (*Bild*). Aufgrund der geringen Eindringtiefe und der geringen Sendeleistung von Tetra-Endgeräten treten nur lokal an der Körperoberfläche (Haut) geringe Temperaturerhöhungen auf [4]. Dabei

werden oberflächliche Erwärmungen von bis zu 1 °C nicht überschritten. Tiefere Gewebeschichten wie die Großhirnrinde oder der Augenbereich werden aufgrund der geringen Sendeleistung (0,25 W) nicht nennenswert erwärmt, so dass eine gesundheitliche Beeinflussung ausgeschlossen werden kann.

Sendeleistung Tetra-Endgeräte

Aufgrund des TDMA-Multiplexverfahrens und der im Tetra-Netz der BOS genutzten Dienste, wird hier im TMO- (Netzmodus) derzeit nur ein Nutzkana- (logischer Kanal), also ein Zeitschlitz je Rahmen, durch ein Endgerät belegt, wodurch effektiv von der nominell vorgegebenen Sendeleistung (1 W) bezogen auf die zeitliche Mittelung des Signals nur ein Viertel der Leistung gesendet wird [6]. Dementsprechend können alle Betrachtungen auf max. 0,25 W Sendeleistung gemittelt werden, wenn bei einem Endgerät als nominelle Sendeleistung 1 W (Power Class 4) angegeben wird. Gleiches gilt unter operativen Bedingungen auch im DMO-Modus, wie Messungen gezeigt haben.

Weitere Studien zur Expositionsbelastung durch Tetra-Funkgeräte wurden von der Seibersdorf Labor GmbH im Rahmen des Projekts „Safe Tetra“ durchgeführt [7]. Die Schlussfolgerungen der Autoren sind übereinstimmend zu den Bewertungen des BfS.

Expositionen von Tetra-Basisstationen

In einer Umfrage des Infas-Institutes von 2006 zeigten sich 27 % der deutschen Bevölkerung gesundheitlich besorgt über elektromagnetische Felder (EMF), insbesondere von Mobilfunkbasisstationen [8]. Ein Drittel der EU-Bürger haben Befürchtungen und Ängste hinsichtlich möglicher Gefahren ausgehend von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobilfunksendeanlagen [9].

Diese subjektive öffentliche Wahrnehmung steht im deutlichen Widerspruch zum wissenschaftlichen Kenntnisstand, wonach von keiner

gesundheitlichen Gefährdung von Mobilfunkbasisstationen auszugehen ist. Aufgrund der sensiblen Wahrnehmung des Themas „Mobilfunkmasten und deren potentielle Strahlenbelastung in unmittelbarer Umgebung von Wohngebieten“ wurden zahlreiche Studien hierzu in Auftrag gegeben. Insbesondere bei der Errichtung von Sendeanlagen für den Tetra-Funk in den einzelnen Bundesländern bestand ein erhöhter Aufklärungs- und Diskussionsbedarf. Aus dieser teilweise defensiven Lage der agierenden Behörden gegenüber berechtigtem Informationsbedarf betroffener Kommunen und Bürger entstanden zahlreiche Messkampagnen zur Datenerhebung von EMF-Immissionen in Wohngebieten bzw. in der Umgebung von Sendeanlagen. In keiner der Studien konnte eine Grenzwertüberschreitung, verursacht durch Mobilfunk, BOS-Digitalfunk oder anderweitige HF-Quellen registriert werden [10] bis [13]. Dementsprechend ist auch die Immission von Tetra-Basisstationen, die rechnerisch simuliert und durch Messdaten erfasst wurde, gering. Die Immissionen, die von Tetra- und Mobilfunksendeanlagen ausgehen, sind in Bezug auf die Gesundheit der Menschen nicht relevant (Abstand ca. Faktor 5.000 bis 50.000 zur biologischen Wirkschwelle). Im Gegensatz dazu konnte gezeigt werden, dass z.B. ein Handy die energetische Belastung einer Person mit elektromagnetischen Wellen deutlich erhöht (Abstand ca. Faktor 50 bis 100 zur biologischen Wirkschwelle), da es in unmittelbarer Nähe zum menschlichen Körper betrieben wird.

Forschungsprogramme

Zur Aufklärung von offenen wissenschaftlichen Fragen und zur weiteren Verbesserung der Datenlage hinsichtlich der Einschätzung von möglichen gesundheitlichen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf den Menschen wurden unterschiedlichste nationale und internationale Forschungsvorhaben durchgeführt. Zwei Programme mit direktem Bezug zur Tetra-Technik sind das Deutsche und das Britische Mobil-

funkforschungsprogramm [14], [15]. Ihre Ergebnisse widerlegen ursprüngliche Risikovermutungen eindeutig und können keine Hinweise auf gesundheitliche Auswirkungen bez. der Anwendung von HF-Technik erfassen. Allerdings können das BfS und die Strahlenschutzkommission in ihren abschließenden Stellungnahmen zum Deutschen Mobilfunkforschungsprogramm letztendlich langjährige Wirkungen nicht vollständig ausschließen [14], [16]. Zum einen ist die erhobene Datenlage dafür nicht umfassend genug (zu kurze Studienzeiträume). Zum anderen lässt sich ein ernsthaft arbeitender Wissenschaftler kaum zu einer ausschließenden Stellungnahme bewegen, sofern nicht abschließende, unwiderlegbare Messergebnisse zu erreichen sind. Um dem Argument der zu kurzen Studienzeiträume entgegenzutreten, werden derzeit einige multinationale Großstudien durchgeführt bzw. sind teilweise abgeschlossen, wie z.B. die Interphone- und die Cosmos-Studie sowie das SEER-Programm, deren Betrachtungsdauern über zehn Jahre hinausgehen. Bis dato konnten auch in diesen Studien keine negativen gesundheitsbezogenen Zusammenhänge bei einer intensiven Mobiltelefonnutzung für den Menschen festgestellt werden.

In den wenigen Studien, in denen ein Zusammenhang zwischen EM-Feldern des Mobilfunks und gesundheitlichen Auswirkungen auch unter Einhaltung der bestehenden Grenzwerte unterstellt wurde, erwiesen sich die gefundenen Effekte als wissenschaftlich nicht tragbar. In der Regel sind diese Studien durch methodische Fehler, Artefakte in den Daten oder durch nicht haltbare Darstellungen charakterisiert. Im Gegensatz dazu beurteilen alle renommierten nationalen und internationalen Expertengremien (SSK, BfS, WHO, ICNIRP, AGNIR, NCI) Expositionen unterhalb der etablierten Grenzwertstandards als nicht gesundheitlich bedenklich für den menschlichen Organismus. Negative gesundheitliche Auswirkungen durch eine berufsbedingte erhöhte Exposition bei Einhaltung der von der EU vorgegebenen Arbeitsschutzmaßnahmen können nach derzeitigem Kenntnisstand aus-

geschlossen werden. Diese Einschätzung wird durch zahlreiche großangelegte Studien in den USA belegt [17]. Derzeit nehmen in Großbritannien ca. 80.000 Polizeibeamte an einer langjährigen Studie teil, die mögliche gesundheitliche Effekte hinsichtlich des Routineeinsatzes von Tetra-Funktechnik untersucht (Airwave Health Monitoring Program) [18]. Aufgrund der Aktualität und der wahrscheinlich großen Aussagekraft der Airwave-Studie sollten künftige Planungen, die die BOS in Deutschland betreffen, die Aussagen und Bewertungen dieser Großstudie berücksichtigen. In einer grundlegenden Stellungnahme bewertet die ICNIRP die seit 1998 publizierten Studien zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern derart, dass unterhalb der anerkannten Grenzwerte keine Anhaltspunkte für nachteilige gesundheitliche Effekte gefunden wurden und somit die Grenzwerte für die Hochfrequenz Bestand haben [20].

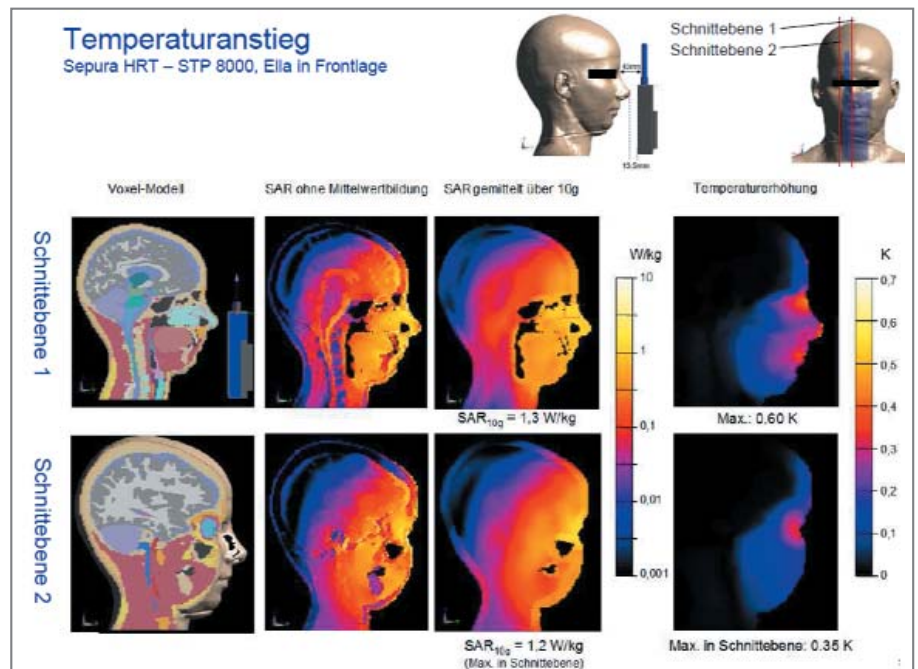
Kritische Bewertungen

Die IARC (International Agency for Research on Cancer), eine Unterorganisation der WHO, stufte hervorgehend aus einer Teilstudie der Interphone-Studie, elektromagnetische Felder als potentiell krebserregend für den Menschen ein. Trotz inkonsistenter Resultate der Teilstudie kommt das IARC zu der Bewertung, dass elektromagnetische Felder im Bereich der Mobilfunkfrequenzen potenziell Krebs auslösen können und klassifizierte diese als Gruppe 2B (potenziell krebserregend; limitierte Beweislage) ein [21]. Damit ist die IARC das einzige international anerkannte Gremium, das eine potenzielle gesundheitliche Gefährdung bei Nutzung von HF-Technik sieht. Die Aussage dieser Teilstudie war: Langzeittelefonierer können einem bis zu 1,4-fach erhöhten Gehirntumorrisiko ausgesetzt sein; Normaltelefonierer hingegen haben ein bis zu 0,83-fach reduziertes Gehirntumorrisiko. Allerdings wurde die aus der Statistik resultierende Aussage von den Autoren in einer späteren Studie widerlegt [22]. Aus dieser voreiligen Risikobewertung lassen sich prinzipielle Schlüsse ziehen:

- Kleine Studien bzw. Teilstudien mit überschaubarer Teilnehmerzahl haben nur geringe Aussagekraft. Umfassende moderne Studiendesigns haben einige tausend bis hunderte tausende Teilnehmer.

wie beispielsweise www.elektrosmoginfo.de/ nutzen.

Leider stehen diesen Webseiten viele andere Quellen im Internet gegenüber, die eher unseriöser Natur sind. Nicht zu erwähnen, eine Unzahl an



Frontposition mit Sepura-Handfunkgerät Modell Ella: kombinierte Darstellung des Voxel-Modells, der SAR-Verteilung sowie der Temperaturerhöhung in zwei Schnittebenen (oben/unten).

Linke Bilder: heterogenes anatomisches Modell (Voxel-Modell);
mittlere Bilder: SAR-Verteilungen an der Hautoberfläche (links ohne Mittelwertbildung, rechts über 10 g gemittelt); das Maximum liegt im Bereich der Nasenwurzel und beträgt 1,3 W/kg;
rechte Bilder: Temperaturerhöhung infolge der Exposition. Schnittebene 1: Querschnitt vertikal durch die Nase; Schnittebene 2: Querschnitt vertikal durch das Auge (Quelle: BfS)

- Ein positiver Befund muss mehrfach validiert werden.
- Methodische Fehler müssen erkannt oder ausgeschlossen werden; jedes Experiment enthält statistische Limitationen. Statistische Aussagen können nur über Wiederholungen validiert werden.

Nur unter Beachtung dieser wesentlichen Grundsätze beim Design bzw. bei der Auswertung von Experimenten lassen sich reproduzierbare Ergebnisse finden, die auch nur dann veröffentlicht werden sollten. In der Praxis werden diese Grundsätze leider nicht immer befolgt. Daraus resultiert unter anderem die teilweise unübersichtliche Lage in der Literatur mit teils lückenhaften oder falschen Argumentationen. Wer sich diesbezüglich informieren möchte, kann die Webseiten des BfS (www.bfs.de/de/elektro), des FEMU-Portals (www.emf-portal.de/) oder auch private Internetseiten

physikalisch unwirksamen Produkten, die vor Strahlung schützen sollen.

Vor dem beschriebenen Hintergrund kann auch durch die Autoren nicht abschließend festgestellt werden, dass der breite Einsatz der Mobilfunktechnik mit hundertprozentiger Sicherheit keine gesundheitlichen Risiken birgt. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit einer Schädigung bei Einhaltung der geltenden Grenzwertstandards als äußerst gering einzustufen. Umfassende Informationen zu allen relevanten Themen im Bereich EMVU mit speziellem Blick auf die Einführung der Tetra-Technik bei allen BOS in Deutschland sowie Risikobewertungen finden sich in einer öffentlichen Version des „Handbuch der Gesundheitsprävention im Digitalfunk-BOS der Polizei Brandenburg“ (www.digitalfunk-brandenburg.de/digitalfunk@digitalfunk.brandenburg.de). (bk)