

Deutsches Ärzteblatt print

Berg, Gabriele; Breckenkamp, Jürgen; Blettner, Maria

Gesundheitliche Auswirkungen hochfrequenter Strahlenexposition

Deutsches Ärzteblatt 100, Ausgabe 42 vom 17.10.2003, Seite A-2738 / B-2284 / C-2143
MEDIZIN

Zusammenfassung

Die Exposition der Bevölkerung gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (Radiofrequenzbereich: 30 kHz bis 300 MHz, Mikrowellenbereich: 300 MHz bis 300 GHz) hat seit der Einführung des Mobilfunks in erheblichem Maß zugenommen. Sowohl die starke Verbreitung dieser Exposition als auch die zunehmende Besorgnis in der Bevölkerung über mögliche gesundheitliche Auswirkungen erfordern Studien zur validen Quantifizierung möglicher gesundheitlicher Risiken. Während experimentelle Studien zu den biologischen Wirkungsmechanismen zeigen, dass hochfrequente elektromagnetische Felder unter bestimmten Bedingungen eine Promotion von Tumorzellen bewirken können, findet man in epidemiologischen Studien zum Einfluss der Felder auf die Entstehung von Krebserkrankungen und Herz-Kreislauf-Krankheiten sowie dem Auftreten von Befindlichkeitsstörungen inkonsistente Ergebnisse.

Schlüsselwörter: nicht ionisierende Strahlenexposition, elektromagnetisches Feld, Krebsentstehung, Befindlichkeitsstörung, Mobilfunk

Summary

Health Effects of Exposure to High Frequency Electromagnetic Fields

Since the introduction of cellular phones the exposure of the population by high frequency electromagnetic fields (radio frequencies: 30 kHz to 300 MHz, microwaves: 300 MHz to 300 GHz) increased to a large extent. Both the strong increase of this exposure and the rising concern about possible health effects in the population require studies for a validated quantification of possible health risks. While experimental studies with regard to the biological mechanisms point to the fact that high frequency electromagnetic fields can cause a promotion of tumour cells under certain conditions, epidemiological studies show either no associations or inconsistent results on the emergence of cancer or cardiovascular diseases as well as the occurrence of disturbances of well-being.

Key words: non ionizing radiation exposure, electromagnetic field, emergence of cancer, disturbance of well-being, cellular phone

Gesundheitsschädigende Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder wurden in den letzten Jahren nicht zuletzt aufgrund uneinheitlicher Ergebnisse vielseitiger Forschungsaktivitäten äußerst kontrovers diskutiert. Die Exposition der Bevölkerung gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern nahm seit der Einführung des Mobilfunks rapide zu. Bereits Ende 1999 nutzten circa 25 Prozent der Bevölkerung ein Handy, immerhin 50 Prozent der Haushalte waren es im Jahr 2000 (4). Und heute sind es mehr als 65 Prozent der deutschen Bevölkerung, die ein Handy besitzen (27). Expositionen im beruflichen Umfeld, zum Beispiel an Arbeitsplätzen mit Hochfrequenz-Plastikschweißmaschinen, treten schon seit Jahrzehnten auf. Der Anteil beruflich Exponierter ist zwar deutlich kleiner als beim Mobilfunk, allerdings ist die Intensität der Exposition teilweise deutlich höher. Ein Handlungsbedarf für die weitere Erforschung der gesundheitlichen Auswirkungen dieser Exposition ergibt sich aus der öffentlichen Besorgnis, der starken Verbreitung der Exposition seit der Einführung der Handys und den bisher inkonsistenten Forschungsergebnissen (36, 39). Studien zur validen Quantifizierung gesundheitlicher Risiken durch hochfrequente elektromagnetische Felder sind somit dringend geboten.
Technische Grundlagen und Grenzwerte

Zu den hochfrequenten elektromagnetischen Feldern zählen unter anderem die Felder im Radio- beziehungsweise TV-Bereich (auch Radiowellen oder Radiofrequenz genannt) sowie der Mobilfunk im Mikrowellenbereich (Radiofrequenzbereich: 30 kHz bis 300 MHz; Mikrowellenbereich: 300 MHz bis 300 GHz). Mobilfunknetze arbeiten in den Frequenzbereichen 450 MHz (analoges C-Netz), 900 MHz (digitale D-Netze) und 1 800 MHz (digitale E-Netze) und liegen somit im Frequenzspektrum der Mikrowellen (26). Eine berufliche Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist bei verschiedenen industriellen Be- und Verarbeitungsprozessen in den Bereichen Metall, Holz, Keramik, Plastik und Nylon gegeben, außerdem in der Halbleiter- und Mikroelektronik, bei Radarsystemen, bei Funkern, bei der Arbeit auf und mit Antennen und Antennenmasten oder bei der Verwendung elektromagnetischer Geräte zur medizinischen Diagnostik und Therapie.

Zur Messung des Einflusses elektromagnetischer Felder auf biologisches Gewebe wird die Rate der aufgenommenen Energie, die „specific absorption rate“ (SAR) angegeben. Empfehlungen zu Grenzwerten für die Allgemeinbevölkerung werden von der International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) ausgesprochen. Dabei liegen diesen Grenzwertbestimmungen lediglich die thermische Auswirkung der Hochfrequenzstrahlung zugrunde. Ein Temperaturanstieg von 1°C ergibt sich bei der Exposition einer Person unter gemäßigten Umgebungsbedingungen durch eine Ganzkörper-SAR von circa 4 W/kg während einer Zeitdauer von 30 Minuten. Eine durchschnittliche Ganzkörper-SAR von 0,4 W/kg wurde durch die ICNIRP als Grenzwert definiert, um einen angemessenen Schutz vor beruflich bedingter Exposition zu gewährleisten. Ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor von fünf wurde für den Schutz der Allgemeinbevölkerung zugrunde gelegt. Entsprechend liegt der Grenzwert für die Allgemeinbevölkerung bei einer SAR von 0,08 W/kg (Mittelwert für die Ganzkörperbestrahlung) (19). Die entsprechenden gesetzlichen Regelungen findet man in der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (26. BImSchV).

Biologische Wirkungsmechanismen

Bislang ist nicht geklärt, durch welchen Mechanismus hochfrequente elektromagnetische Felder eine Wirkung auf biologische Vorgänge haben (2). Sie rufen, im Gegensatz zu den ionisierenden Strahlungen, keine chemischen Veränderungen in der Zelle hervor. Zwar können elektromagnetische Impulse ausgelöst werden, diese übersteigen jedoch nicht die Größenordnung biologisch ablaufender Impulse. Weitestgehend belegt sind allerdings die thermischen Effekte der hochfrequenten elektromagnetischen Felder, denen auch die Grenzwertbestimmungen zugrunde liegen (18).

Viele experimentelle Studien weisen darauf hin, dass der Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Karzinogenität nicht in der Initiierung einer Tumorzelle beziehungsweise einer Mutation liegt, sondern in der Promotion beziehungsweise in der Erleichterung der Aufnahme von Karzinogenen in die Zelle (43, 44). Theoretische Ansätze über die biochemischen Mechanismen der Tumorentstehung durch Hochfrequenzexposition gehen davon aus, dass durch Hitzeschock veränderte Proteine als Tumorpromotor wirken können (10). In Versuchen, in denen Zellkulturen oder Tiere hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt wurden, konnten weitere physiologische Effekte nachgewiesen werden (31). Zu den beobachteten Wirkungen zählen Veränderungen der neuralen und neuromuskulären Funktionen, erhöhte Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke, Verschlechterung der Sehfähigkeit, Veränderungen im Immunsystem, Veränderungen im hämatologischen System, bei der Fortpflanzungsfähigkeit, der Zellmorphologie, des Wasser- und Elektrolythaushalts sowie der Membranfunktion.

In einer Übersicht von Hermann und Hossmann (13) über die neurologischen Effekte der hochfrequenten elektromagnetischen Felder wurden folgende Aspekte herausgearbeitet: Die Exposition kann zu Einflüssen in der neuronalen elektrischen Aktivität führen sowie die Calciumhomöostase, den Energiestoffwechsel, Neurotransmitter und die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke beeinträchtigen. Jedoch kommen die Autoren zu dem Schluss, dass sich die in Studien gefundenen Ergebnisse häufig widersprechen und somit eine Evidenz über das gesundheitliche Risiko hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Gehirn bisher nicht gegeben ist.

Einfluss auf das menschliche Gehirn

In verschiedenen Studien wurde der Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Wach- und das Schlaf-EEG untersucht. Die Studien zum Einfluss auf das Wach-EEG, die zum Teil mit verschiedenen Stimuli verknüpft wurden, kamen zu uneinheitlichen Ergebnissen. Während Wagner et al. (45, 46) und Hietanen et al. (14) keinen Einfluss feststellten, fanden Reiser et al. (38) und Eulitz et al. (9) durch hochfrequente elektromagnetische Felder bedingte

Veränderungen des Frequenzspektrums der EEGs. EEG-Schlafableitungen mit Exposition vor oder während der Untersuchung zeigten in der EEG-Analyse Hinweise auf Veränderungen des REM-Schlafes. Allerdings waren die Ergebnisse statistisch nicht signifikant (5, 17, 30, 46). Die Autoren dieser Experimente kamen zu dem Schluss, dass sich zwar ein geringer Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das menschliche Gehirn konstatieren lässt; es sei aber völlig unklar, ob diese Effekte einen Einfluss auf die Gesundheit eines Menschen haben. Ein weiteres Experiment mit 14 Männern konnte zeigen, dass die elektromagnetischen Felder digitaler Mobiltelefone eine Verschlechterung des Schlafverhaltens verursachen können (30). Die Forschergruppe konnte das Resultat in Folgestudien jedoch nicht reproduzieren (46). Einen anderen Aspekt möglicher Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder wurde in einer englischen Studie untersucht. Hier konnte bei 36 Versuchspersonen eine erhöhte kognitive Reaktionsfähigkeit während der Exposition durch die elektromagnetischen Felder der Mobiltelefone gezeigt werden (37).

Krebsrisiko

Bisher wurden im Bereich der hochfrequenten elektromagnetischen Felder vorwiegend epidemiologische Studien zum Krebsrisiko von beruflich exponierten Personengruppen durchgeführt (3), bei denen allerdings häufig nicht klar zwischen einer Exposition mit hoch- oder niederfrequenten Feldern differenziert wurde. Auf der Ebene der Allgemeinbevölkerung wurde in epidemiologischen Studien ein mögliches Krebsrisiko der Handynutzung untersucht. Aktuelle Ergebnisse von zwei Kohortenstudien (7, 25, 40) und fünf Fall-Kontroll-Studien (1, 11, 20, 33, 34) zeigen keine Assoziation zwischen der Nutzung eines Handys und der Entstehung von Gehirntumoren. Allerdings weist eine Erweiterung der bereits genannten Fall-Kontroll-Studie von Hardell (11) mit 1 429 Fällen auf ein geringfügig erhöhtes Hirntumorrisiko bei lang andauernder Nutzung analoger Handys von mehr als zehn Jahren hin (12). Stang et al. (42) fanden in einer Fall-Kontroll-Studie, dass das Risiko für Uvealtumoren (seltener Augentumor) bei Handynutzern erhöht ist. Es handelt sich dabei jedoch um eine Studie mit einer sehr unspezifischen Erfassung der Exposition. Dieses Ergebnis konnte durch eine ökologische Studie, allerdings auf Krebsregisterdaten basierend und zudem landesweit in Dänemark durchgeführt, nicht wiederholt werden (24).

Die bisher publizierten Handy-Studien schließen lediglich ein erhöhtes Hirntumorrisiko nach wenigen Jahren moderater Handynutzung aus. Darüber hinaus ist die Aussagekraft dieser Studien jedoch eingeschränkt, da die Zahl der untersuchten Personen zum Nachweis kleiner Risiken nicht ausreichend groß war, die Latenzzeiten zwischen dem Beginn einer Handynutzung und der Tumordiagnose recht kurz waren und die Studien vor allem Rückschlüsse auf die analoge Technik erlauben.

Einfluss auf das Herz-Kreislauf-System

Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems als Folge einer Exposition mit elektromagnetischen Feldern wurden bisher in epidemiologischen Studien selten untersucht. Meist handelte es sich dabei um Studien mit geringer Beobachtungszahl. Die ersten Ergebnisse vor allem in Bezug auf berufliche Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder, die Anfang der 70er-Jahre publiziert wurden, kamen aus der damaligen Sowjetunion (24). Diese Studien sind jedoch wegen der ungenauen Terminologie bezüglich der Strahlenexposition und der angewandten Methoden schwierig zu bewerten (28). Allerdings gibt es einige Tierversuche, die bei Kardioarrhythmien auf Effekte der Hochfrequenz-strahlung hinweisen (21, 22, 29).

Befindlichkeitsstörungen

Für Befindlichkeitsstörungen, ausgelöst durch die Nutzung von Handys, werden inkonsistente Ergebnisse berichtet. Zwei explorative Erhebungen zeigten auf, welche Befindlichkeitsstörungen von Handynutzern selbst angegeben werden. Dazu zählen unangenehme Gefühle und Erwärmungen im Gesicht, an den Augen und Ohren sowie Kopfschmerzen (15, 35). Nach Angaben von Oftedal et al. (35) weisen die Ergebnisse auf eine Wahrnehmung dieser Symptome hin, nicht jedoch auf ernsthafte gesundheitliche Beeinträchtigungen. In einer Querschnittsstudie mit 11 000 Handynutzern, in der Nutzer von digitalen GSM-Mobiltelefonen mit Nutzern analoger NMT-Mobiltelefone verglichen wurden, konnten hinsichtlich Kopfschmerzen und Parästhesien (beschrieben als Wärmegefühl hinter dem Ohr) keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden (41). Chia et al. (7) untersuchten in einer Querschnittsstudie bei 808 Männern und Frauen ebenfalls Befindlichkeitsstörungen durch Handybenutzung. Zu den untersuchten Befindlichkeitsstörungen zählten Sehstörungen, Parästhesien (hier beschrieben als Hautkribbeln im Gesicht, Erwärmungsgefühl auf der Haut und hinter dem Ohr), Müdigkeit, Gedächtnisverlust, Konzentrationsschwäche, Schwindelanfälle und Kopfschmerzen. Lediglich für Kopfschmerzen

fanden sie einen signifikanten Unterschied zwischen der exponierten und der nicht exponierten Gruppe, die bei den Handynutzern zudem dosisabhängig war. Eine norwegisch-schwedische experimentelle Studie zeigte eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Befindlichkeitsstörungen wie dem gehäuften Auftreten von Kopfschmerzen, Müdigkeit, Parästhesien und der Häufigkeit und Dauer von Gesprächen mit einem Mobiltelefon (32). Die bisherigen Ergebnisse epidemiologischer und experimenteller Studien zu den verschiedenen Befindlichkeitsstörungen sind aufgrund der unterschiedlichen Studiendesigns nur begrenzt zu vergleichen. Sowohl Fragestellung, Studiendesign, Methodik als auch die Ergebnisse weisen starke Unterschiede auf. Nur unter Berücksichtigung klarer Fragestellungen und eines umfassenden Studiendesigns mit ausreichender Methodik zur validen Erfassung der Exposition können gesundheitlich relevante Befindlichkeitsstörungen eruiert werden.

Resümee

Die gesundheitlichen Auswirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern – wie zum Beispiel bei der Handynutzung – sind bis heute nur unzureichend geklärt. Bisherige Ergebnisse sind inkonsistent und basieren häufig auf unzulänglichen Studiendesigns, zu geringer berücksichtigter Latenzzeit oder unzureichender Expositionserfassung (36). Derzeit werden verschiedene epidemiologische Studien durchgeführt. Dazu zählt die von der WHO geförderte internationale INTERPHONE-Studie – eine Fall-Kontroll-Studie zum Hirntumorrisiko durch Handynutzung. Diese Studie wird aufgrund der hohen Fallzahl und der breiten Expositionserfassung valide Ergebnisse zum Risiko der hochfrequenten elektromagnetischen Felder der Handys liefern (6). In Ergänzung zu dieser Studie sollte die Durchführung einer weiteren Kohortenstudie mit Handynutzern geplant werden, um andere gesundheitliche Risiken der Hochfrequenzexposition durch Handys – über die Hirntumoren hinaus – abschätzen zu können. Dringend notwendig sind weiterhin epidemiologische Untersuchungen von Bevölkerungs- beziehungsweise Berufsgruppen, die stärker als die Bevölkerung im Allgemeinen gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern exponiert sind. Als Beispiel seien hier Arbeiter an Hochfrequenz-Plastikschweißmaschinen genannt. Bereits die Grenzwertempfehlungen des ICNIRP (19) zeigen, dass die zugelassene Exposition im beruflichen Umfeld im Vergleich zum privaten Umfeld höher ist. Folglich müssten mögliche gesundheitliche Auswirkungen dort eher festzustellen sein. Die höher exponierten Berufsgruppen sind in der Regel jedoch sehr klein, sodass Kohortenstudien nur schwierig durchführbar erscheinen.

Forschungsbedarf zu den gesundheitlichen Auswirkungen der Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder von Mobilfunkbasisstationen ergibt sich nicht nur aus der öffentlichen Besorgnis, sondern ebenfalls aus der kontinuierlichen Belastung. Gerade weil die Expositionen von Mobilfunkbasisstationen klein und schwer erfassbar sind sowie eine Mischexposition aufgrund anderer Funkanwendungen vorliegt, sind die Qualitätsanforderungen an eine solche Studie erheblich. Eine große Querschnittsstudie zu diesem Thema befindet sich in Deutschland in Vorbereitung. Bisherige Ergebnisse deuten darauf hin, dass die gesundheitlichen Risiken hochfrequenter elektromagnetischer Felder eher gering sind. Für die Bestätigung dieser Risiken – aber auch für die quantitative Erfassung dieser Risiken sind umfangreiche und qualitativ hochwertige epidemiologische Studien erforderlich.

Manuskript eingereicht: 8. 5. 2003, revidierte Fassung angenommen: 9. 7. 2003

zZitierweise dieses Beitrags:

Dtsch Arztebl 2003; 100: A 2738–2740 [Heft 42]

© Deutscher Ärzte-Verlag