5G – Die neue Mobilfunkgeneration und ihre Auswirkungen auf den Menschen

5G – the new generation of mobile technologies and its effects on humans

JANINE SCHMIDT

ZUSAMMENFASSUNG

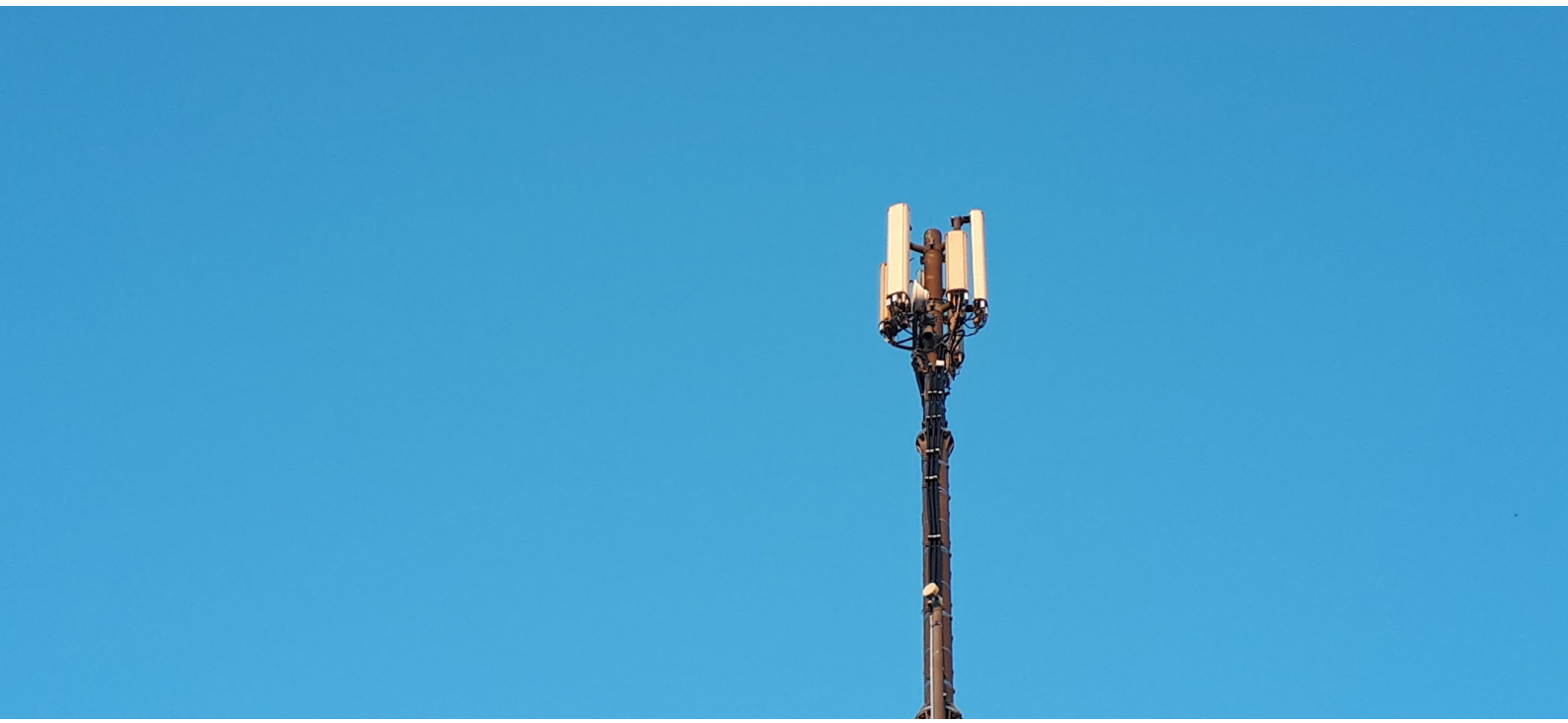
Mit der fünften Mobilfunkgeneration (5G) werden vielfältige neue Anwendungsmöglichkeiten verbunden, aber auch Bedenken hinsichtlich möglicher gesundheitlicher Risiken durch die elektromagnetischen Felder. Vor allem der geplante Einsatz deutlich höherer Frequenzen („Millimeterwellen") ruft in Teilen der Bevölkerung Besorgnis hervor. Zusätzlich befürchtet wird eine steigende Strahlenbelastung, unter anderem durch den vermehrten Einsatz von Kleinzellen. Wissenschaftlich sicher belegt ist einzig die Wärmewirkung elektromagnetischer Felder. Davor schützen die Grenzwerte. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass sich aufgrund gegenläufiger technischer Entwicklungen die Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern nicht wesentlich verändern wird. Wissenschaftliche Unsicherheiten in der Risikobewertung betreffen langfristige Auswirkungen intensiver Handynutzung. Hier können Vorsorgemaßnahmen, wie die Befolgung einfacher Verhaltensempfehlungen, sehr effektiv sein.

ABSTRACT

Numerous applications are associated with the 5th generation of mobile technologies (5G) but also concerns about possible health risks from electromagnetic fields. Especially the upcoming use of considerably higher frequencies ("millimeter waves") raises concerns in parts of the population. Additionally, it is feared that, amongst other things, the enhanced use of small cells will lead to an increase of the exposure. Heating is the only scientifically ascertained effect of electromagnetic fields. Limit values protect against this effect. Furthermore, because of contrasting technical developments, it can be assumed that the exposure of the population with electromagnetic fields won't change substantially. Scientific uncertainties in risk assessment exist in view of long-term effects due to the intensive usage of mobile phones. With respect to this, precautionary measures, like simple behavioral recommendations, can be very effective.

EINLEITUNG

Ob zum Telefonieren, Musik hören oder Surfen im Internet: Die Nutzung von Handys und Smartphones ist im Alltag fast aller Menschen eine Selbstverständlichkeit. Weltweit gibt es mehr Mobilfunkverträge als Menschen und fast die gesamte Weltbevölkerung lebt in Reichweite eines Mobilfunknetzes (ITU 2019). In Deutschland wurde Anfang der 1990er Jahre das erste vollständig digitale Mobilfunknetz eingeführt. Während zu Beginn nur die mobile Kommunikation und das Senden und Empfangen von SMS möglich war, folgte im Verlauf der Einsatz vielfältiger multimedialer Anwendungen. Mit jeder neuen Mobilfunkgeneration stieg die Leistungsfähigkeit der Netze. So auch mit der



© Janine Schmidt.

Einführung der 5. Mobilfunkgeneration, kurz 5G, die noch einmal deutlich höhere Datenübertragungsraten ermöglicht. Virtual Reality-Anwendungen, autonom fahrende Autos und die Vernetzung von Milliarden elektronischer Geräte (Internet of Things) sind nur einige Beispiele dafür, wie die höheren Datenübertragungsraten der neuen Mobilfunktechnologie genutzt werden können. Dennoch wird 5G in der Öffentlichkeit kontrovers diskutiert. Insbesondere gibt es Bedenken im Hinblick auf gesundheitliche Auswirkungen durch elektromagnetische Felder, mit denen die drahtlose Übertragung von Sprache und Daten überhaupt erst ermöglicht wird. Was ändert sich mit 5G? Sind die Bedenken hinsichtlich gesundheitlicher Auswirkungen begründet? Welche Schutzmaßnahmen gibt es? Im Folgenden werden diese Themen genauer beleuchtet.

WAS IST 5G?

5G steht für die 5. Generation der Mobilfunkstandards. 5G stellt dabei keine komplett neue Technologie dar, sondern ist eine Weiterentwicklung der vorherigen Mobilfunkstandards 2G (GSM), 3G (UMTS) und 4G (LTE) (TABELLE 1). Viele technische Aspekte von 5G sind daher mit denen bisheriger Mobilfunkstandards vergleichbar. Mit jeder

TABELLE 1
Übersicht über die Mobilfunkstandards und das Jahr ihrer Einführung in Deutschland.

Mobilfunkstandard	Mobilfunkgeneration	Einführung
A-, B- und C-Netz	1. Generation (1G)	1958
GSM (Global System for Mobile Communication)	2. Generation (2G)	1992
UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)	3. Generation (3G)	2000
LTE (Long Term Evolution)	4. Generation (4G)	2010
5G	5. Generation (5G)	2019

neuen Mobilfunkgeneration stieg die Datenübertragungsrate. Auch 5G weist im Vergleich zu 4G eine bis zu 100-fach höhere Datenübertragungsrate auf. Auch die Latenzzeit, das heißt die Verzögerung bei der Übertragung von Daten, fällt bei 5G erheblich geringer aus. Diese Aspekte ermöglichen ein deutlich breiteres Anwendungsspektrum von 5G, erfordern aber auch die Einführung technischer Neuerungen. Zwar wird 5G, wie die bisherigen Mobilfunkgenerationen, elektromagnetische Felder zur drahtlosen Übertragung von Sprache und Daten in vorerst ähnlichen Frequenzbereichen nutzen. Für einige Anwendungsbereiche ist jedoch der Einsatz von elektromagnetischen Feldern mit deutlich höheren Frequenzen als bisher nötig.

WAS SIND ELEKTROMAGNETISCHE FELDER?

Elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich von 100 Kilohertz (kHz) bis 300 Gigahertz (GHz) werden als hochfrequent bezeichnet. Weil elektrische und magnetische Felder bei hohen Frequenzen eng miteinander gekoppelt sind, spricht man von elektromagnetischen Feldern. Elektromagnetische Felder breiten sich als Wellen im freien Raum mit Lichtgeschwindigkeit aus und können dabei Energie und Informationen über große Entfernungen übertragen. Diese Eigenschaft macht sich der Mobilfunk zunutze. Dabei ist Hertz (Hz) die Maßeinheit für die Frequenz, das heißt, für die Zahl der Schwingungen des elektromagnetischen Feldes pro Sekunde. Die Länge einer Welle ist abhängig von der Frequenz. Bei hohen Frequenzen sind die Wellenlängen klein und bei niedrigen Frequenzen groß. Beispielsweise hat ein elektromagnetisches Feld mit einer Frequenz von 100 kHz eine Wellenlänge von 3 Kilometern, während ein elektromagnetisches Feld mit einer Frequenz von 25 Gigahertz nur noch eine Wellenlänge von 1,2 Zentimetern aufweist (TABELLE 2). Für typische Mobilfunkfrequenzen zwischen 800 Megahertz (MHz) und 2.600 MHz (= 2,6 GHz) betragen sie zum Beispiel 38 bis 12 Zentimeter.

TECHNISCHE ASPEKTE VON 5G

5G-FREQUENZSPEKTRUM

Moderne Kommunikationstechnologien nutzen heute ein breites Spektrum an hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Während die bisherigen Mobilfunkgenerationen 2G bis 4G Frequenzbereiche zwischen 800 MHz und 2,6 GHz verwenden, kommen beim drahtlosen Zugang zum Internet über WLAN Frequenzbereiche um 2,4 GHz sowie zwischen 5,1 bis 5,7 GHz zum Einsatz. Für 5G wurden 2019 auf der Frequenzauktion der Bundesnetzagentur (BNetzA) das 2 GHz- sowie das 3,6 GHz-Frequenzband an die Mobilfunkbetreiber versteigert (BNetzA 2019). Im 2 GHz-Band wird aktuell noch 3G betrieben, doch soll das 3G-Mobilfunknetz nach und nach abgeschaltet werden. Ein Teil des Frequenzbands bei 3,6 GHz ist bereits dem Festen Funkdienst, das heißt dem Funkdienst zwischen bestimmten festen Punkten, zugewiesen. Zusätzlich steht seit 2019 das

Frequenz in Hertz (Hz)		Wellenlänge
100.000	= 100 Kilohertz (kHz)	3 Kilometer
1.000.000	= 1 Megahertz (MHz)	300 Meter
1.000.000.000	= 1 Gigahertz (GHz)	30 Zentimeter
25.000.000.000	= 25 GHz	1,2 Zentimeter
100.000.000.000	= 100 GHz	3 Millimeter

TABELLE 2
Zusammenhang von Frequenz und Wellenlänge bei elektromagnetischen Feldern.

700 MHz-Frequenzband für die Mobilfunknutzung zur Verfügung. Dieses Frequenzband wurde ursprünglich für die Übertragung des terrestrischen digitalen Fernsehens (DVB-T) genutzt. Damit kommen bei 5G aktuell Frequenzbereiche zum Einsatz, die auch bei den bisherigen Mobilfunkgenerationen genutzt werden, die diesen benachbart sind oder die für vergleichbare Nutzungen vergeben sind (ABBILDUNG 1).

Auf perspektivische Sicht ist für 5G die Nutzung weiterer, deutlich höherer Frequenzbänder geplant. Die entsprechenden Frequenzbereiche wurden 2019 auf der Weltfunkkonferenz (WRC-19) der Internationalen Fernmeldeunion festgelegt. Dabei handelt es sich um die Bereiche 24,25–27,5 GHz, 37–43,5 GHz, 45,5–47 GHz, 47,2–48,2 GHz und 66–71 GHz. Hier spricht man auch vom Zenti- oder Millimeterwellenbereich, da die elektromagnetischen Felder bei diesen Frequenzen Wellenlängen von wenigen Zenti- bis Millimetern aufweisen. Auch heute schon werden Felder im Frequenzbereich oberhalb von 20 GHz eingesetzt, zum Beispiel beim Richtfunk, bei Ganzkörperscannern am Flughafen oder beim Abstandsradar von Autos. In Deutschland befinden sich mögliche Anwendungen mit Feldern im Zenti- und Millimeterwellenbereich beim Mobilfunk bisher nur im Test. Da diese Felder nur eine sehr geringe Reichweite aufweisen und nicht durch Hindernisse, wie beispielsweise Häuserwände dringen, eignen sie sich weniger gut für die flächendeckende, sondern mehr für die lokale Versorgung (sogenannte „Campuslösungen“). In ihrem Entwurf zu den grundlegenden Rahmenbedingungen für 5G-Anwendungen sieht die BNetzA derzeit in Deutschland eine Nutzung des Frequenzbereichs bei 26 GHz nur für lokale, grundstücksübergreifende Anwendungen (z. B. Hotspots an belebten Orten in Städten) oder grundstücksbezogene Anwendungen (z. B. für Industrie-, Forst- und Landwirtschaft) vor (BNetzA: Entwurf für die zukünftigen Rahmenbedingungen im Bereich 26 GHz).

„MASSIVE MIMO“ UND „BEAMFORMING“

Die bereits bei 4G und WLAN eingesetzte Multiple Input Multiple Output (MIMO)-Technik beschreibt die gleichzeitige Verwendung mehrerer Sende- und Empfangsantennen. Bei 5G wird diese Technik fortentwickelt zu Massive MIMO, wobei die Anzahl an Sende- und Empfangsantennen noch einmal deutlich zunimmt. Die Antennenelemente einer Massive MIMO-Antenne sind einzeln ansteuerbar, wodurch eine zielgenauere Kommunikation zwischen der Antenne der Basisstation und dem mobilen Endgerät möglich ist. Diese Form der präzi-

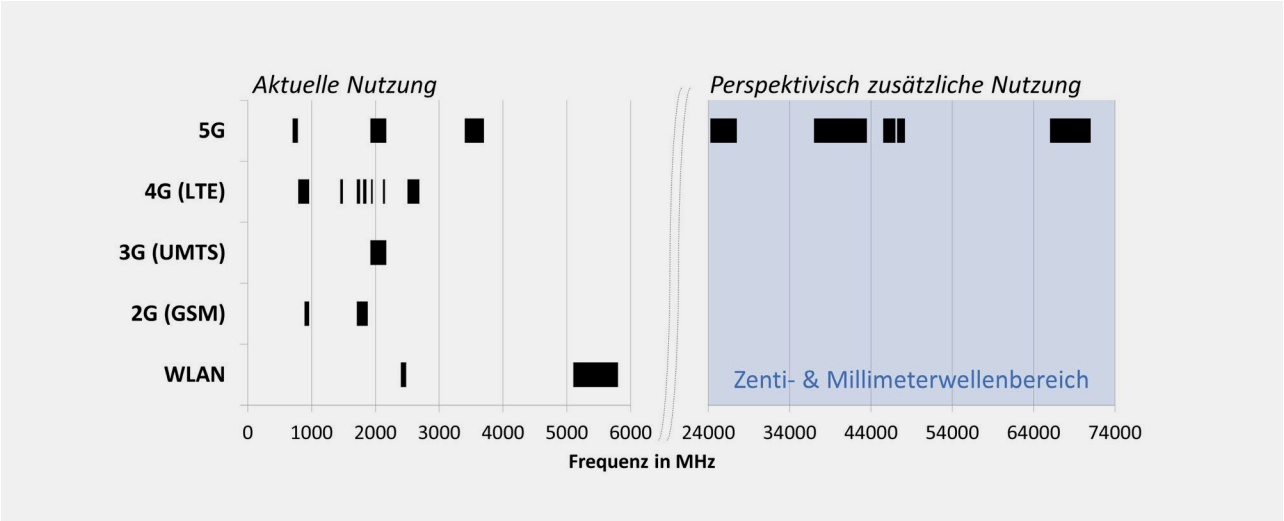


ABBILDUNG 1
Überblick über die aktuell beim Mobilfunk und bei WLAN genutzten Frequenzbereiche sowie die perspektivisch für 5G vorgesehenen Frequenzen im Zenti- und Millimeterwellenbereich.

sen Ausrichtung des Mobilfunksignals wird als Beamforming bezeichnet. Statt der sonst üblichen Ausbreitung des Mobilfunksignals in die Fläche werden durch das Beamforming nur einzelne Geräte angesprochen, wodurch sich Interferenzen verringern und die Übertragungskapazität steigt.

KLEINZELLEN

Kleinzellen (oder „Small Cells“) sind kleine Funkanlagen mit einer deutlich geringeren Sendeleistung als herkömmliche Mobilfunk-Basisstationen. Die Sendeleistung von Kleinzellen beträgt 2 bis 10 Watt äquivalente isotrope Strahlungsleistung (EIRP) (INFOBOX 1). Aus diesem Grund sind sie nur zur Versorgung von kleinen Flächen geeignet. Sie werden dort installiert, wo ein großes Datenaufkommen zu erwarten ist, das heißt dort, wo sich viele Menschen aufhalten („Hotspots“). Als typische Standorte von Kleinzellen kommen beispielsweise Straßenlaternen oder Bushaltestellen in Frage. Auch heute schon werden Kleinzellen zur Kapazitätssteigerung in 2G-, 3G- und 4G-Netzen eingesetzt, beispielsweise bei Großveranstaltungen oder in Stadien.

AUSWIRKUNGEN AUF DEN MENSCHEN

BIOLOGISCHE WIRKUNGEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER

Ist der Mensch gegenüber elektromagnetischen Feldern exponiert, wird die Energie der Felder vom Körper absorbiert und in Wärme umgewandelt. Je nachdem, ob nur ein Teil des Körpers oder der Körper als Ganzes exponiert wird, kann es zu lokaler Gewebeerwärmung oder zur Erwärmung des gesamten Körpers kommen. Der menschliche Körper kann die Wärmezufuhr regulieren, indem er die überschüssige Wärme über das Blut abführt oder durch Verdunstung an der Hautoberfläche abgibt (Schwitzen). Lokale oder kurzfristige Ganzkörper-Erwärmungen, zum Beispiel bei körperlicher Betätigung, können vom Körper eines gesunden Menschen sehr effektiv reguliert werden. Mit negativen Auswirkungen auf die Gesundheit ist dann zu rechnen, wenn bestimmte Schwellenwerte überschritten werden und die Thermoregulation des Körpers überfordert ist.

Maßgebend für die Bewertung der Gesundheitsrisiken elektromagnetischer Felder ist die vom Körper absorbierte Energie. Basisgröße dafür ist die Spezifische Absorptionsrate, kurz SAR, mit der Maßeinheit Watt pro Kilogramm (W/kg). Sie gibt die Energie pro Zeiteinheit an, die pro Kilogramm Gewebe absorbiert und in Wärme umgewandelt wird. Hochfrequente Felder, die dauerhaft auf den gesamten Körper einwirken und dabei zu SAR-Werten von im Mittel 4 W/kg führen, bewirken beim Menschen eine Temperaturerhöhung von etwa 1 °C. Mehrere experimentelle Studien an Freiwilligen sowie Tierstudien haben bei Überschreitung dieser Wirkschwelle negative gesundheitliche Auswirkungen dokumentiert. Berichtet werden unter anderem Hitzeerschöpfung und Hitzeschlag, Effekte auf das Verhalten sowie Gewebeschäden bei starker lokaler Gewebeerwärmung (ICNIRP 1998).

Die Wärmewirkung, die auch als thermischer Effekt bezeichnet wird, ist der einzige wissenschaftlich nachgewiesene Wirkmechanismus hochfrequenter elektromagnetischer Felder, wie sie beim Mobilfunk genutzt wer-

INFOBOX 1

ÄQUIVALENTE ISOTROPE STRAHLUNGSLEISTUNG

Die äquivalente isotrope Strahlungsleistung (englisch: equivalent isotropic radiated power, EIRP) gibt an, mit welcher Sendeleistung man eine Antenne, die gleichmäßig in alle Richtungen sendet (sogenannter Kugelstrahler), versorgen müsste, um dieselbe Leistungsflussdichte (Maß für die Stärke der Strahlung) wie mit einer gerichtet abstrahlenden Antenne in Hauptstrahlrichtung zu erreichen. Die EIRP ist damit eine Rechengröße, in der Praxis kommen solche Kugelstrahler nicht vor.

den. Dennoch stehen immer wieder sogenannte nicht-thermische Wirkungen elektromagnetischer Felder in der Diskussion, also Wirkungen, die auf einen anderen als den Wärmeeffekt zurückzuführen sind. Des Weiteren gibt es Hinweise auf eine mögliche krebserregende Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks (INFOBOX 2). Unterhalb der für den Mobilfunk geltenden Grenzwerte sind solche Wirkungen aber nicht wissenschaftlich nachgewiesen. Zu den wissenschaftlich diskutierten Wirkungen siehe auch die Internetseite https://www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/wirkung/hff-diskutiert/hff-diskutiert.html.

AUSWIRKUNGEN AUF DIE EXPOSITION DER BEVÖLKERUNG DURCH EINFÜHRUNG VON 5G

Der Mensch ist im Alltag ständig elektromagnetischen Feldern ausgesetzt, sei es über das mobile Endgerät (z. B. das Handy), den WLAN-Router, die Basisstation oder die Kleinzelle. Die Exposition hängt dabei von zahlreichen Faktoren ab, beispielsweise von der Anzahl, der Entfernung und technischen Parametern der Sendeanlagen, von umliegenden Objekten, dem Beitrag des eigenen Mobilfunkendgeräts und nicht zuletzt auch von dem Grad der Mobilfunknutzung durch andere Menschen in der nahen Umgebung.

Grundsätzlich nimmt die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern von Basisstationen zu, wenn zusätzliche Basisstationen in bestehenden oder in neuen Netzen aufgebaut werden. Auch mit dem Ausbau von 5G werden neue Sendeanlagen errichtet. Zusätzlich wird sich die Anzahl von Kleinzellen an Orten, wo sich viele Menschen aufhalten, erhöhen. Kleinzellen weisen zwar eine deutlich geringere Sendeleistung auf als Basisstationen, rücken aber aufgrund der geringen Reichweite von wenigen 100 Metern näher an den Menschen heran. Des Weiteren ist aufgrund der zukünftig anvisierten Anwendungsszenarien, wie dem autonomen Fahren oder dem Internet of Things, mit einem weiter steigenden Datenvolumen zu rechnen.

Mit der zu erwartenden Netzverdichtung kann die Exposition durch die Felder von Endgeräten hingegen niedriger werden, wenn sich die durchschnittliche Entfernung der Nutzer zu einer Basisstation verringert und dadurch ein besserer Empfang möglich wird. Durch die neuen Techniken „Massive MIMO“ und „Beamforming“ kann die Strahlungsleistung einer Antenne zudem zielgenauer an den Empfänger abgegeben werden. Die zielgenauere Aussendung kann zu niedrigeren Expositionen von Nichtnutzern

INFOBOX 2

HINWEISE AUF EINE MÖGLICHE KREBSERREGENDE WIRKUNG ELEKTROMAGNETISCHER FELDER

Beim körpernahen Betrieb mobiler Endgeräte – beispielsweise beim Telefonieren mit dem Handy ohne Headset – werden die elektromagnetischen Felder direkt am Kopf erzeugt, wodurch eine stärkere Exposition vorliegt als beispielsweise durch eine in der Umgebung befindliche Basisstation. In epidemiologischen Studien wurde daher untersucht, ob die Nutzung von Handys oder Schnurlostelefonen das Risiko für Krebserkrankungen des Kopfes erhöht. Bisherige epidemiologische Studien zeigen weitgehend übereinstimmend kein erhöhtes Risiko für Krebserkrankungen des Kopfes. Allerdings gibt es wissenschaftliche Unsicherheiten bezüglich des Risikos für „Vielnutzer“ und wegen der vergleichsweise kurzen Nutzungsdauer der Mobilfunktechnologie auch zu möglichen Langzeiteffekten der Handynutzung. Auf dieser Basis hat die Internationale Krebsforschungsagentur (IARC) hochfrequente elektromagnetische Felder als „möglicherweise krebserregend“ (Gruppe 2b) eingestuft (IARC 2013). Die Klassifizierung in Gruppe 2b im Gegensatz zu Gruppe 2a („wahrscheinlich krebserregend“) beruht auf begrenzten Anhaltspunkten aus epidemiologischen Studien, die die Nutzung mobiler Endgeräte und die Entstehung von Kopftumoren untersuchten, und auf begrenzten Anhaltspunkten aus Laborstudien an Versuchstieren. Die IARC-Bewertung berücksichtigt dabei nur, ob elektromagnetische Felder überhaupt krebserzeugend wirken können. Die Wahrscheinlichkeit, mit der Krebs als Folge der Exposition entsteht, wird hingegen nicht bewertet. Ein Anstieg der Inzidenzraten von Kopftumoren ist in nationalen Krebsregistern bisher nicht zu sehen. Die Einstufung wird von der IARC bis 2024 neu bewertet.

führen, weil weniger Leistung ungerichtet in die Umgebung abgegeben wird. Durch die höhere Datenübertragungsrate ist im Vergleich zu bisherigen Mobilfunkgenerationen bei gleichbleibender zu übertragender Datenmenge eine kürzere Übertragungs- und Expositionsdauer möglich.

Wie sich diese teils gegenläufigen Aspekte im Einzelnen auf die Exposition der Allgemeinbevölkerung auswirken werden, kann noch nicht im Detail bewertet werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Streubreite möglicher Expositionen zunehmen wird und die durchschnittliche Exposition der Bevölkerung auf einem niedrigen Niveau bleibt. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) begleitet den Auf- und Ausbau der 5G-Netze unter anderem mit Forschungsvorhaben, die die Veränderungen in der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks untersuchen.

GRENZWERTE UND RISIKOBEWERTUNG

WELCHER SCHUTZ BESTEHT GEGENÜBER DEN BIOLOGISCHEN WIRKUNGEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER?

Um die Bevölkerung vor den nachgewiesenen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder zu schützen, wurden auf Basis des wissenschaftlichen Kenntnisstandes Grenzwerte eingeführt. Diese wurden konservativ, unter „worst case“-Bedingungen abgeleitet, gelten für alle Bevölkerungsgruppen und sind auf Dauerexpositionen ausgelegt. Die Grenzwerte beruhen auf Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP), die 1998 veröffentlicht wurden. Die Grenzwertempfehlungen der ICNIRP basieren auf einer Gesamtschau aller wissenschaftlichen Studien und wurden 1999 vom Rat der Europäischen Union beziehungsweise von der Europäischen Kommission übernommen.

In Deutschland sind die Grenzwerte für ortsfeste Anlagen, wie Mobilfunk-Basisstationen, auf Grundlage des Bundes-Immissionsschutzgesetzes in der „Verordnung über elektromagnetische Felder“ (26. BImSchV) festgelegt. Auch mobile Endgeräte, wie Smartphones, dürfen bestimmte, von der ICNIRP empfohlene Expositionshöchstwerte nicht übersteigen. Der Schutz vor relevanten Wirkungen elektromagnetischer Felder erfolgt hier aber nicht im Rahmen der 26. BImSchV, sondern wird über die Produktsicherheit geregelt (INFOBOX 3).

Sowohl nationale als auch internationale Expertengremien, Organisationen und Behörden überprüfen laufend, ob die Grenzwerte weiterhin den Schutz der Bevölkerung sicherstellen. Das Wissenschaftliche Gremium über Gesundheits-, Umwelt- und neu auftretende Risiken (SCENIHR, seit 2016 SCHEER) bewertet im Auftrag der Europäischen Kom-

INFOBOX 3

REGELUNGEN ZUM SCHUTZ VOR ELEKTROMAGNETISCHEN FELDERN VON BASISSTATIONEN, KLEINZELLEN UND ENDGERÄTEN

Die 26. BImSchV gilt für ortsfeste Anlagen, zum Beispiel Mobilfunk-Basisstationen, mit einer Sendeleistung von 10 Watt EIRP oder mehr. Die Grenzwerte gelten ebenso für Anlagen mit geringerer Leistung, sollte an einem Standort die Gesamtleistung von 10 Watt EIRP erreicht oder überschritten werden. Die freiwillige Selbstverpflichtung der Mobilfunkbetreiber wurde im April 2020 um die Kleinzellen erweitert, die eine Sendeleistung unter 10 Watt EIRP aufweisen und daher nicht unter die 26. BImSchV fallen. Hier verpflichten sich die Mobilfunkbetreiber, für Kleinzellen dasselbe Schutzniveau einzuhalten, das für Basisstationen größerer Leistung in der 26. BImSchV gegeben ist (Deutsche Telekom Technik GmbH et al. 2020). Der Schutz vor elektromagnetischen Feldern mobiler Endgeräte, wie Smartphones, wird nicht über die 26. BImSchV sondern im Rahmen der Produktsicherheit geregelt. Diese sieht vor, dass die beim Betrieb von Smartphones und ähnlichen Produkten auftretenden SAR-Werte festgelegte Höchstwerte nicht übersteigen.

mission Risiken neuer Techniken, darunter den Mobilfunk, für die Europäische Union. In seiner letzten veröffentlichten, alle Frequenzen umfassenden Literaturbewertung kommt SCENIHR zu dem Schluss, dass es unterhalb der Grenzwerte keine Nachweise für eine gesundheitsschädliche Wirkung von Mobilfunkfeldern gibt (SCENIHR 2015).

In Deutschland wird das fachlich zuständige Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) durch die Strahlenschutzkommission (SSK) sowie durch das BfS beraten. Das BfS konzipierte und betreute in den Jahren 2002 bis 2008 das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) sowie Folgestudien, um die Schutzwirkung der Grenzwerte zu überprüfen. Umfassend untersucht wurden mögliche nicht-thermische Wirkmechanismen und akute Wirkungen auf den Menschen. Auch mögliche Effekte einer Langzeitexposition wurden in Tierstudien überprüft. Insbesondere wurde überprüft, ob solche Langzeitwirkungen bei Einhaltung der Grenzwerte auftreten können. Sowohl das BfS als auch die SSK haben nach Abschluss des DMF unabhängig voneinander festgestellt, dass die vorliegenden Ergebnisse keine Erkenntnisse erbracht haben, die die geltenden Grenzwerte aus wissenschaftlicher Sicht in Frage stellen (BfS 2008; SSK 2008). Der im DMF untersuchte Frequenzbereich wurde bewusst breit gefasst und ging zum Teil über den damals vor allem genutzten GSM- und UMTS-Frequenzbereich hinaus. Daher lassen sich dessen Erkenntnisse auch auf die aktuell bei 5G verwendeten Frequenzen übertragen.

SCHÜTZEN DIE GRENZWERTE AUCH VOR DEN ELEKTROMAGNETISCHEN FELDERN VON 5G?

Die Grenzwerte für hochfrequente elektromagnetische Felder wurden Technik-unabhängig entwickelt und umfassen den Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz (ICNIRP 1998; ICNIRP 2020). Dieser schließt sowohl den aktuell für den Mobilfunk und 5G genutzten Frequenzbereich zwischen 700 MHz und 3,6 GHz, als auch den perspektivisch für 5G vorgesehenen Zenti- und Millimeterwellenbereich ein. Damit schützen die geltenden Grenzwerte nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand auch vor den elektromagnetischen Feldern von 5G.

Der wissenschaftlichen Bewertung der gesundheitlichen Risiken elektromagnetischer Felder im Zenti- und Millimeterwellenbereich liegen aber deutlich weniger wissenschaftliche Studien zugrunde als in den niedrigeren Frequenzbereichen. Um den Wissensstand zu festigen, wird daher weitere Forschung, unter anderem vom BfS, durchgeführt. Da die Eindringtiefe elektromagnetischer Felder mit steigender Frequenz immer geringer wird, werden Felder im Zenti- und Millimeterwellenbereich bereits sehr nahe an der Körperoberfläche absorbiert. Aus diesem Grund betreffen mögliche Auswirkungen einer Exposition vor allem die Haut oder die Augen, wohingegen innere Organe nicht direkt betroffen sind. Eine vom BfS bereits im Jahr 2013 initiierte Studie hat Effekte einer Exposition von Hautzellen mit elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich 106 GHz bis 2,52 Terahertz (THz) untersucht. Es konnten keine gentoxischen Effekte durch die Exposition mit Millimeter- und Submillimeterwellen (Terahertzbereich) auf verschiedene humane Hautzelltypen festgestellt werden (BfS 2013).

WIE WERDEN DIE GESUNDHEITLICHEN RISIKEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER BEWERTET?

Die biologischen Wirkungen und gesundheitlichen Risiken elektromagnetischer Felder des Mobilfunks werden bereits seit Jahrzehnten in epidemiologischen Beobachtungsstudien, wie auch in experimentellen Studien am Menschen, im Tiermodell oder in Zellkulturen untersucht. Die Datenlage hierzu ist sehr umfangreich. Eine wissenschaftlich fundierte Risikobewertung basiert auf der Gesamtschau der Ergebnisse aller veröffentlichten Studien aller oben genannten Stu-

dienarten und erfolgt immer unter Berücksichtigung von deren Qualität und damit Aussagekraft. Zu den üblichen Qualitätskriterien zählen beispielsweise für experimentelle Studien eine verblindete Versuchsdurchführung, die Mitführung einer Positivkontrolle und einer scheinexponierten Kontrolle sowie eine adäquate Exposition und Dosimetrie. Studien, die diese Qualitätskriterien erfüllen, werden bei der Risikobewertung stärker gewichtet als Studien, die diese Kriterien nicht erfüllen. Für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern und einer Erkrankung spricht, wenn übereinstimmende Befunde aus mehreren unabhängigen Studien vorliegen und ein biologischer Wirkmechanismus bekannt ist, der erklären kann, wie die Felder die Erkrankung auslösen. Interdisziplinäre Expertengremien, wie SCENIHR oder die SSK, die eine solche wissenschaftlich fundierte Risikobewertung vornehmen (SCENIHR 2012), kommen zu dem Schluss, dass es unterhalb der Grenzwerte keine gesicherten Belege für gesundheitsschädliche Effekte (SCENIHR 2015) oder eine krebserregende Wirkung (SSK 2011) elektromagnetischer Felder gibt.

VORSORGE

GIBT ES VORSORGEMASSNAHMEN UND WELCHE SIND DIES?

Zwar schützen die Grenzwerte für Mobilfunkbasisstationen und die Vorgaben zur Produktsicherheit von Endgeräten vor allen wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder, es bestehen jedoch noch Unsicherheiten in der Risikobewertung hinsichtlich möglicher chronischer Wirkungen einer langfristigen und intensiven Mobilfunknutzung. Auch ist es grundsätzlich nicht möglich, eine völlige Unschädlichkeit zu beweisen, da nie alle möglichen Situationen, Kombinationen und Zustände getestet werden können. Da die Feldstärke mit dem Abstand zu Sendern rasch abnimmt und die Expositionen durch Basisstationen üblicherweise sehr niedrig sind, betreffen die Vorsorgeempfehlungen vor allem die körpernahe Nutzung von Endgeräten. In Deutschland umfassen die Vorsorgemaßnahmen, wie sie vom BfS angewandt werden, drei Bereiche:

- Information der Bevölkerung: Die Bevölkerung wird objektiv und sachlich über mögliche gesundheitliche Risiken und die Belastung durch elektromagnetische Felder informiert, damit sie eine eigene Einschätzung der Risiken vornehmen kann.

- Forschung: Mit begleitender oder proaktiver Forschung werden wissenschaftliche Unsicherheiten in der Risikobewertung geklärt.

- Minimierung der Exposition: Das BfS gibt Verhaltensempfehlungen, wie jeder und jede Einzelne die eigene Exposition verringern kann.

WIE LÄSST SICH DIE EIGENE EXPOSITION VERRINGERN?

Um die Stärke der hochfrequenten Felder beim Telefonieren mit Handys oder Smartphones zu verringern und die Dauer der Exposition zu verkürzen, können folgende einfache Verhaltensempfehlungen angewandt werden:

- Nutzung eines Festnetztelefons statt des Handys,
- Telefonate mit dem Handy möglichst kurzhalten,
- Nicht bei schlechtem Empfang telefonieren (zum Beispiel nicht im Auto ohne Außenantenne, da dann das Handy mit höherer Leistung senden muss),
- Nutzung eines Handys mit geringem SAR-Wert. Liste mit Handymodellen und Herstellerangaben zum SAR-Wert: https://www.bfs.de/SiteGlobals/Forms/Suche/BfS/DE/SARsuche_Formular.html,
- Nutzung eines Head-Sets,
- Schreiben von Textnachrichten.

LITERATUR

BfS – Bundesamt für Strahlenschutz (2013): Gentoxische Effekte von Terahertz-Strahlung in vitro – Vorhaben 3607S04533. http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013081411010 (Zugriff am: 18.08.2020).

BfS – Bundesamt für Strahlenschutz (2008): Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms. Bewertung der gesundheitlichen Risiken des Mobilfunks. http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201108036032 (Zugriff am: 18.08.2020).

BNetzA – Bundesnetzagentur: Entwurf für die zukünftigen Rahmenbedingungen im Bereich 26 GHz. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/LokaleNetze/lokalenetze-node.html (Zugriff am: 16.07.2020).

BNetzA – Bundesnetzagentur (2019): Frequenzauktion 2019. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Breitband/MobilesBreitband/Frequenzauktion/2019/Auktion2019.html?nn=268128 (Zugriff am: 16.07.2020).

Deutsche Telekom Technik GmbH, Telefónica Germany GmbH & Co. OHG, Vodafone GmbH, Drillisch Netz AG (2020): Fortschreibung der Selbstverpflichtung gegenüber der Bundesregierung aus dem Jahr 2001 mit dem Schwerpunkt „Kleinzellen". https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/selbstverpflichtung_kleinzellen_bf.pdf (Zugriff am: 16.07.2020).

IARC – International Agency for Research on Cancer (2013): IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol 102. Non-ionizing radiation, part II: radiofrequency electromagnetic fields. https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono102.pdf (Zugriff am: 16.07.2020).

ICNRIP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (2020): Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). Health physics 118 (5):483–524.

ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (1998): Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health physics 74 (4):494–522.

ITU – International Telecommunication Union (2019): Measuring digital development. Facts and Figures 2019. ITU. Geneva. https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2019.pdf (Zugriff am: 16.07.2020).

SCENIHR – Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (2015): Opinion on: Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). European Commission. Luxembourg. https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf (Zugriff am: 20.07.2020).

SCENIHR – Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (2012): Memorandum on the use of the scientific literature for human health risk assessment purposes – weighing of evidence and expression of uncertainty. European Union. Brüssel. https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_s_001.pdf (Zugriff am: 20.07.2020).

SSK – Strahlenschutzkommission (2011): Vergleichende Bewertung der Evidenz von Krebsrisiken durch elektromagnetische Felder und Strahlungen. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung. https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2011/2011_06.pdf?__blob=publicationFipu (Zugriff am: 16.07.2020).

SSK – Strahlenschutzkommission (2008): Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2008/Mobilfunk_Forschungsprogramm.html (Zugriff am: 16.07.2020).

KONTAKT

Dr. Janine Schmidt
Bundesamt für Strahlenschutz
Fachgebiet WR 5 – Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim
E-Mail: JSchmidt[at]bfs.de

[BfS]