Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

http://www.ssk.de

Elektromagnetische Felder neuer Technologien

Statusbericht der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 262. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 11./ 12. Juli 2013

Inhalt

1 Einleitung ... 3

2 Ergänzungen/Änderungen zum Statusbericht 2003 aufgrund neuer technologischer Entwicklungen ... 3

2.1 Telekommunikation ... 4
2.1.1 Long Term Evolution (LTE) / Digitale Dividende ... 4
2.1.2 Digitaler Behördenfunk (TETRA-BOS) ... 4
2.1.3 Ultra-Wideband (UWB) ... 5
2.1.4 Femtozellen ... 5
2.1.5 WLAN ... 5
2.1.6 Digitaler Rundfunk und digitales Fernsehen ... 6
2.1.7 Smart-home ... 7
2.1.8 Funkanwendungen in Flugzeugen ... 7
2.1.9 Geändertes Mobilfunknutzungsverhalten ... 7
2.1.10 Neue Nutzung von Frequenzbereichen und hierdurch veränderte Immissionen ... 8

2.2 Verkehrswesen ... 9
2.2.1 Funkanwendungen im Fahrzeugbereich ... 9
2.2.2 Elektro- und Hybridfahrzeuge ... 9

2.3 Energieübertragung ... 10
2.3.1 Berührungslose Energieübertragung ... 10
2.3.2 Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) ... 12

2.4 Gesundheitswesen ... 12
2.4.1 Funkanwendungen im Gesundheitswesen ... 12
2.4.2 Medizinische Anwendungen ... 12

2.5 Sonstiges ... 13
2.5.1 Terahertz ... 13
2.5.2 LED und Kompaktleuchtstofflampen ... 13
2.5.3 Funktionelle Kleidung ... 13
2.5.4 Radio Frequency Identification (RFID) ... 14

3 Zusammenfassung ... 14

4 Literatur ... 21

Abkürzungsverzeichnis ... 23

Anhang 1 Auszug aus dem Statusbericht der SSK 2003 ... 25

1 Einleitung

Elektromagnetische Felder (EMF) werden in immer vielfältigerer Weise unter immer vollständigerer Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Frequenzspektrums durch technische Geräte und Anlagen erzeugt. Im Hochfrequenzbereich wird das Spektrum immer lückenloser für die drahtlose Nachrichtenübertragung genutzt, und immer höhere Frequenzen bis zum Infrarotbereich werden angewendet. Darüber hinaus gewinnen bei der Energieversorgung und der Antriebstechnik neben den klassischen Frequenzen von 50 Hz und 16 2/3 Hz sowohl der Gleichstrom, als auch immer mehr Frequenzen bis in den Kurzwellenbereich hinein an Bedeutung. Dies hat auch Auswirkungen auf den Pegel der elektrischen und magnetischen Felder im Alltag. Die ständig neu hinzukommenden technischen Applikationen und ihre rasche Verbreitung erfordern es, die damit einhergehende Veränderung der Expositionssituation des Menschen zu erfassen und die Gesamtheit der auf ihn einwirkenden elektromagnetischen Felder zu bewerten.

Der vorliegende Bericht soll daher die gegenwärtige Expositionssituation, die absehbare zukünftige Entwicklung und den daraus abzuleitenden erforderlichen Forschungsbedarf aufzeigen. Besonders zu beachtende Aspekte sind dabei z. B. die simultane Exposition gegenüber mehreren Quellen und breitbandige Felder. Zur Bewertung werden die Referenzwerte der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG herangezogen (EU 1999). Eine gesundheitliche Bewertung der aufgezeigten technischen Entwicklungen ist nicht Gegenstand dieser Stellungnahme.

Aus Sicht der SSK sind angesichts der Zunahme elektromagnetischer bzw. magnetischer Felder in Zukunft zwei Aspekte besonders zu beachten.

Zum einen bedarf es einer Erfassung des elektromagnetischen „Hintergrundpegels“, insbesondere unter Einbeziehung der Immissionen im gesamten Frequenzbereich. Wegen der intensiveren Nutzung bestehender und der zunehmenden Erschließung immer neuer Frequenzbereiche ist von einer Erhöhung des Pegels elektromagnetischer Felder im Alltag auszugehen. Dieser Hintergrundpegel ist durch entsprechende Messungen und Analysen zu ermitteln. Dazu ist auch die Weiterentwicklung der Messmethodik unverzichtbar.

Zum anderen kommt es zu einer Änderung der Expositionsbedingungen durch die verstärkte gleichzeitige Nutzung von immer mehr Geräten durch immer mehr Menschen auf immer vielfältigere Weise. Angesichts der großen Spannweite der Frequenzen und Modulationen sowie der zunehmenden Breitbandigkeit der Immissionen ist zur Ermittlung der Exposition die bisherige Methode der „Peak-Summation“ auf erweiterter wissenschaftlicher Basis zu verbessern und zu ergänzen.

Die Strahlenschutzkommission (SSK) hat schon in der Vergangenheit darauf hingewiesen, dass bereits bei der Konstruktion von Geräten eine Minimierung der Emissionen und der Exposition der Nutzer anzustreben ist, insbesondere wenn technisch und wirtschaftlich gleichwertige Alternativen bestehen (SSK 2001, SSK 2003). Der vorliegende Bericht beinhaltet daher nicht die Diskussion über die technologischen Möglichkeiten für eine Minimierung der Gesamtexposition.

2 Ergänzungen/Änderungen zum Statusbericht 2003 aufgrund neuer technologischer Entwicklungen

Ausgangspunkt für den vorliegenden Statusbericht war die in der SSK-Empfehlung und im Statusbericht 2003 „Elektromagnetische Felder neuer Technologien“ (SSK 2003) aufgestellte

Forderung, den weiteren Verlauf der technischen Entwicklung regelmäßig zu analysieren und kritisch zu verfolgen.

Hierzu wurden neue Technologien in tabellarischer Form zusammengefasst. Zur Verdeutlichung der dynamischen Entwicklung wurde die Zusammenstellung aus dem Jahr 2003 zum Vergleich angefügt (Anhang 1).

Die SSK sieht in folgenden Bereichen für die Exposition gegenüber EMF relevante neue technische Entwicklungen[1]:

2.1 Telekommunikation

2.1.1 Long Term Evolution (LTE) / Digitale Dividende

LTE ist eine Weiterentwicklung der Mobilfunktechnik in der Nachfolge von UMTS. Vorteile von LTE gegenüber UMTS sind höhere Datenraten, eine vereinfachte Netzwerkarchitektur sowie geringere Latenzzeiten. In Deutschland wird LTE derzeit primär als LTE-800 im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz („Digitale Dividende“) und als LTE-1800 im Frequenzbereich um 1,8 GHz aufgebaut. Wegen der Technikneutralität der gegenwärtigen Frequenzausschreibungen kann LTE prinzipiell jedoch auch in anderen Frequenzbereichen betrieben werden (von 700 MHz bis 2700 MHz).

LTE wird in Deutschland derzeit massiv ausgebaut, u. a. wird LTE-800 nach ausreichender Versorgung ländlicher Bereiche auch in den Städten installiert.

Ähnlich wie bei GSM und UMTS besteht eine typische LTE-Basisstation aus drei um 120° im Azimut versetzten Sektorantennen. Aufgrund der zu den „etablierten Funktechniken“ GSM und UMTS vergleichbaren Sendeleistung und Konfiguration ist mit vergleichbaren Immissionen für die Allgemeinbevölkerung zu rechnen (maximal im einstelligen Prozentbereich bezüglich der Leistungsflussdichte-Grenzwerte (EU 1999), häufig im oder unterhalb des Promillebereichs). Messtechnische Untersuchungen werden derzeit durchgeführt (Bornkessel et al. 2013).

Im ländlichen Bereich wird LTE primär zur drahtlosen Internetanbindung von jenen Gebieten verwendet, die bislang nicht über DSL als drahtgebundene Technologie verfügten (so genannte „weiße Flecken“). Wie bei jeder Mobilfunktechnologie ist dabei zu beachten, dass eine LTE-Basisstation eine gemeinschaftlich genutzte („shared“) Ressource darstellt, d. h. die Kapazität der Basisstation teilen sich alle aktiven Nutzer. Extrem hochbitratige Dienste, wie z. B. „Video on demand“, werden nur möglich sein, wenn lediglich wenige Nutzer die Basisstation auslasten, was in der Regel nicht der Fall sein dürfte. Derartige Datenverbindungen werden daher weiterhin über Glasfaserkabel realisiert werden müssen („fibre to the home“).

2.1.2 Digitaler Behördenfunk (TETRA-BOS)

Seit einigen Jahren wird in Deutschland für die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) für ihre nichtöffentliche Kommunikation ein digitales Funksystem nach dem TETRA-Standard eingeführt, das das bisherige analoge Funksystem ersetzen soll. Das TETRA-System bietet gegenüber analogen Systemen zahlreiche Vorteile z. B. hinsichtlich Verschlüsselung, effektiverer Nutzung des Funkkanals, höherer Kapazität,

[1] Als „neu“ wird eine Technologie in diesem Bericht dann bezeichnet, wenn sie sich zum Berichtszeitpunkt in bzw. kurz vor der flächendeckenden Einführung befindet und im letzten Statusbericht (2003) noch nicht erwähnt wurde.

Datenübertragung, Sprachqualität, Funkversorgung, Kompatibilität zwischen den Benutzergruppen, spezielle Modi wie Gruppenruf/Priorisierung. Derzeit befindet sich das Netz noch im Aufbau; der aktuelle Status des Netzaufbaus ist von Bundesland zu Bundesland noch sehr unterschiedlich.

Bei der Wahl der Standorte für die Basisstationen werden primär vorhandene Mobilfunk-Basisstationsstandorte mit speziellen Anforderungen an die Sicherheit (Sabotageschutz usw.) genutzt. Auf Basis der Sendeleistung und Standortkonfiguration lässt sich abschätzen, dass die Immissionen maximal in derselben Größenordnung liegen wie bei nicht behördlichen Mobilfunkanlagen, d. h. maximal im einstelligen Prozentbereich bezüglich der Leistungsflussdichte-Grenzwerte, häufig im oder unterhalb des Promillebereichs.

2.1.3 Ultra-Wideband (UWB)

Ultra-Wideband (UWB)-Technologien, also Anwendungen mit vergrößerter Bandbreite > 500 MHz oder > 20 % der Mittenfrequenz, haben ihre Anwendungsbereiche in der hochbitratigen Kommunikation zwischen Geräten der Heim- und Büroelektronik, bei der drahtlosen Verbindung von Sensor-Netzwerken sowie in der UWB-Sensorik (z. B. Radarmessungen und Stoffanalysen). In einem Projekt des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (Schmid et al. 2008) wurden ausführliche Untersuchungen zu den durch UWB für die Allgemeinbevölkerung erzeugten Immissionen durchgeführt. Aufgrund der durch die Regulierung festgelegten äußerst geringen Sendeleistungen wurde geschlussfolgert, dass die UWB-Technologie von untergeordneter Relevanz für eine Exposition der Allgemeinbevölkerung ist.

Die zukünftige Verbreitung der UWB-Technik ist schwer zu prognostizieren, zumal sich die ursprünglich gesetzten hohen Erwartungen in diese Technologie bezüglich Gerätevielfalt und Marktpenetration bislang nicht bestätigt haben.

Eine berufliche Exposition durch UWB-Techniken (z. B. Minensuchgeräte) wird in dieser Stellungnahme nicht betrachtet.

2.1.4 Femtozellen

Femtozellen sollen zur Verbesserung der Funkversorgung durch Mobilfunk-Basisstationen eingesetzt werden. Im Gegensatz zur herkömmlichen Basisstation („Node B“) werden sie auch als „Home Node B“ bezeichnet. Eine mögliche Ausführungsvariante besteht darin, dass Femtozellen integraler Bestandteil des WLAN- oder DSL-Routers werden. Einige der wenigen derzeit verfügbaren Modelle unterstützen bereits HSPA, geplant sind auch Femtozellen für LTE. Die Femtozelle stellt eine eigenständige Basisstation dar, die über den lokalen Internetanschluss (DSL) mit dem Netz des Mobilfunk-Providers verbunden und vom Netz aus konfiguriert wird.

Derzeit sind über Femtozellen sehr wenig technische Informationen zugänglich. Der Zeitpunkt einer Einführung sowie die Geschäftsmodelle und Marktchancen variieren bei den Mobilfunk-Netzbetreibern in hohem Maße. Aufgrund der derzeitigen Datenlage ist eine belastbare Prognose über die künftige Verbreitung und Immissionsabschätzung nicht möglich.

2.1.5 WLAN

Lokale Funknetze nach einem der vielen IEEE 802.11-Standards werden meist unter dem Begriff WLAN zusammengefasst. Alle gängigen Systeme arbeiten in den beiden ISM-Frequenzbereichen 2,4 GHz bis 2,4835 GHz sowie 5,15 GHz bis 5,725 GHz. Die ständige Weiterentwicklung der WLAN-Technologien und der Anzahl an Installationen geht auf zwei entscheidende Faktoren zurück: Einerseits werden immer höhere Datenübertragungsraten

gewünscht, und damit verknüpft werden komplexere Modulationsverfahren erforderlich, andererseits ist die mit der WLAN-Technologie mögliche, genehmigungsfreie Realisierung kostengünstiger Netzzugänge durch unabhängige Betreiber für immer neue Anwendungen sehr attraktiv.

Immissionen durch WLAN-Access Points und Endgeräte wurden in den letzten Jahren in verschiedenen Studien erhoben, z. B. im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms oder im Auftrag des Schweizer Bundesamts für Gesundheit. In einer aktuellen Studie der britischen Health Protection Agency (HPA) (Peyman et al. 2011) wurden umfangreiche Immissionsmessungen an 13 Access Points und 15 Laptops im Rahmen einer groß angelegten Untersuchung zur Thematik WLAN an Schulen durchgeführt. Hierbei wurde festgestellt, dass die maximale Sendeleistung der Laptops 1 mW bis 17 mW und die der Access Points 3 mW bis 29 mW betrug (zum Vergleich: Mobiltelefone haben eine maximale Sendeleistung zwischen 125 mW und 250 mW mit maximalen Pulsleistungen zwischen 1 W und 2 W). Die räumliche Abstrahlung der Laptops ist nicht gleichmäßig, sondern weist ein Minimum in Richtung des Benutzers auf. Bei Abstandsmessungen der Immission an einem Laptop wurden in 0,5 m maximal 0,2 % des Leistungsflussdichte-Grenzwerts erreicht, in 1 m lagen die Werte schon unter 0,05 %. Exemplarische SAR-Berechnungen an einem Modell eines 10-jährigen Kindes zeigen bei Laptop-Nutzung (2,4 GHz) einen Expositionswert weniger als 1 % eines typischen Mobiltelefon-Szenarios.

In der Zusammenschau mit anderen Studien zeigt sich, dass in typischen Aufenthaltsbereichen um Access Points Immissionen von weniger als 0,01 % vom Leistungsflussdichte-Referenzwert auftreten. Bei Endgeräten werden in 50 cm Abstand maximal 0,2 % vom Leistungsflussdichte-Referenzwert erreicht. Bei direktem Kontakt zum Endgerät kann der Basisgrenzwert lokal (SAR gemittelt über 10 g) bis zu 22 % ausgeschöpft werden. Alle Immissionswerte sind stark geräteabhängig. Somit wird die individuelle Exposition nicht vom Access Point, sondern vom Endgerät dominiert. Bei allen Ergebnissen ist zu berücksichtigen, dass die „reale“ Exposition in Abhängigkeit vom aktuellen Datenverkehr deutlich geringer ist als die als „maximal“ ausgewiesene.

Abschließend sollte noch darauf hingewiesen werden, dass für kurzreichweitige drahtlose Kommunikation, z. B. gleich oder ähnlich zu den Femtozellen oder WLAN-Anwendungen, die Zuteilung weiterer Frequenzbereiche in der Diskussion ist, die auf eine weitere massive Ausweitung derartiger Funkdienste in der Zukunft schließen lassen. Als Beispiel sei der von der Regulierungsbehörde der USA (FCC) im Dezember 2012 initiierte Konsultationsprozess genannt mit dem Titel „Enabling Innovative Small Cell Use in 3.5 GHz Band NPRM & Order“.

2.1.6 Digitaler Rundfunk und digitales Fernsehen

DVB-T2 ist ein Fernseh-Übertragungsstandard, der mit Hilfe komplexerer Modulationsverfahren als bei DVB-T arbeitet und im Prinzip mehr Übertragungsbandbreite besitzt. Da DVB-T2 aber für die Übertragung höher aufgelöster Fernsehbilder (HDTV) genutzt werden soll, ist dennoch mehr Frequenzbandbreite erforderlich und damit letztlich eine höhere Senderdichte und/oder erhöhte Sendeleistung. Über ein „Upgrade“ vom bisherigen DVB-T zum DVB-T2 ist noch nicht entschieden, da hierzu u. a. verbraucherseitig neue Geräte nötig wären. Ohne zusätzliche Frequenzen würde ein „harter“ Übergang, d. h. Ausschalten des alten und Einschalten des neuen Systems zu einem fixen Zeitpunkt, erzwungen. Derzeit gibt es hierfür keine öffentlich bekannt gewordenen Planungen in Deutschland.

DAB+ wird als neues, digitales Rundfunkübertragungsverfahren derzeit zusätzlich zu dem weiter bestehenden analogen UKW-Rundfunknetz ausgebaut und benötigt deshalb ein neues,

bei anderen Frequenzen arbeitendes Sendenetz. Meistens wird der ehemalige Kanal 5c bei 178 MHz aus der „digitalen Dividende“ genutzt; die individuelle Sendeleistung liegt bei max. 10 kW mit derzeit gut 50 Installationen in Deutschland; die Versorgung ist damit aber bei weitem nicht flächendeckend und insbesondere über den weiteren Ausbau entlang von Autobahnen wird noch verhandelt.

DVB-H als spezieller Fernseh-Übertragungsstandard für mobile Applikationen setzt sich vermutlich nicht mehr durch wegen des fehlenden Interesses der Handy-Hersteller.

2.1.7 Smart-home

Drahtlose Funktechniken für „Smart-home“-Anwendungen spielen derzeit eine untergeordnete Rolle, da eine drahtgebundene Standard-Vernetzungsmöglichkeit im Haus („twisted pair“) meist vorhanden ist. Für die Anwendung wird nur auf ein Kommunikationsprotokoll wie z. B. TCP-IP oder European Installation Bus (EIB oder Nachfolger KNX) Bezug genommen, aber es wird nicht die Hardware-Umsetzung der physikalischen Ebene spezifiziert. In einschlägigen Veröffentlichungen sind dies in der praktischen Realisierung fast immer Kabelnetzwerke und keine Funknetzwerke. Letztere kommen meist erst dann ins Spiel, wenn per Mobilfunk von außen eine Fernkontrolle oder Fernsteuerung realisiert werden soll.

Die Marktdurchdringung von WLANs in Privathaushalten konnte nicht in Erfahrung gebracht werden. Dies ist auch deshalb schwierig zu erheben, da die meisten Router sowohl über WLAN als auch Kabel-Netzwerkanschluss verfügen und erst vor Ort nach Gegebenheit konfiguriert werden, d. h. die Funkschnittstelle wird individuell genutzt oder nicht, genauso wie bei Laptops.

2.1.8 Funkanwendungen in Flugzeugen

In Flugzeugen wird die Sendeleistung der Handys durch das Bordsystem auf ein Minimum (1 mW) reduziert, die Funkverbindung im Flugzeug erfolgt bei 1,8 GHz (GSM). In den anderen Mobilfunkbereichen werden Rauschsignale gesendet, damit eingeschaltete Handys auf den anderen Frequenzen nicht ständig suchen. Die Nutzung der Mobiltelefone wird erst ab einer Flughöhe von 3000 m erlaubt (EC 2008).

2.1.9 Geändertes Mobilfunknutzungsverhalten

Die derzeitige Nutzung von Kommunikationssystemen ist auch durch eine Änderung der Expositionssituation charakterisiert. Während die ersten Handy-Modelle ausschließlich zum mobilen Telefonieren benutzt wurden, sind die heutigen Geräte sehr vielseitig und haben mit den ursprünglichen Handys technisch wenig gemein. Entsprechend hat sich die Nutzung vom Telefonieren hin zum Empfangen und Versenden von Kurznachrichten (short message service, SMS), dem Versenden und Empfangen von Bildern und Filmsequenzen (multimedia messaging service, MMS) und der Nutzung des Internets (z. B. soziale Netzwerke, Herunterladen von Musik) verschoben. Im Jahr 2009 nutzten laut einer Umfrage (TNS Infratest 2009) 81 % der Befragten ihr Handy bzw. mobiles Endgerät zum Versenden bzw. Empfangen von SMS, 69 % zum Telefonieren und 32 % zum Versenden bzw. Empfangen von MMS (Mehrfachnennungen möglich).

Die technische Ausstattung und Leistungsfähigkeit der neuen Geräte (Smartphones, Tablet-PCs, aber auch Notebooks mit integrierter oder externer Mobilfunk-Schnittstelle) hat die Anwendungsmöglichkeiten stark erweitert. Die relativen Verkaufszahlen von klassischen Mobiltelefonen, gemessen am Verkauf aller digitaler Geräte, ging weltweit von 2008 bis 2012 um etwa 60 % zurück, während sich im gleichen Zeitraum der Verkauf von Smartphones verdreifachte (Bitkom 2012) und auch Tablet-PCs einen Boom erfahren haben.

2.1.10 Neue Nutzung von Frequenzbereichen und hierdurch veränderte Immissionen

Für den Strahlenschutz ist es wichtig zu verfolgen, welche Expositionsänderung eine Neunutzung bislang durch andere Funksysteme belegter Frequenzbereiche (Digitale Dividende 1 und 2) mit sich bringt, z. B. Ersatz von DVB-T durch LTE. Beispiele aus der Vergangenheit für eine solche Umwidmung sind der Übergang der analogen Mittelwellensender zu DRM (Digital Radio Mondiale) oder der analogen terrestrischen Fernsehsender zu DVB-T. Derzeit werden stückweise einige ursprünglich durch digitale Fernsehsender belegte Frequenzbereiche für den „drahtlosen Netzzugang zum Angebot von Telekommunikationsdiensten“, z. B. Internet per Funk über LTE, umgewidmet. Dies betrifft die „Digitale Dividende 1“ (790 MHz bis 862 MHz) und die „Digitale Dividende 2“ (694 MHz bis 790 MHz).

Für die Immissionsänderung ist letztlich das verwendete Netzkonzept und die installierte Sendeleistung vor und nach der Umwidmung entscheidend: So wird bei der Digitalen Dividende die Immission vor allem in solchen Bereichen ansteigen, in denen früher kein DVB-T-Sender den Bereich 790 MHz bis 862 MHz versorgt hat und nun ein „flächendeckendes“ LTE-800-Netz installiert wird. Im Gegensatz hierzu ist davon auszugehen, dass die Immission durch DVB-T im „portable indoor“-Bereich[2] eines DVB-T-Senders höher ist als jene in einigen Kilometern Abstand zu einem LTE-800-Sender. Belastbare Daten werden in messtechnischen Untersuchungen erhoben (Bornkessel et al. 2013).

Grundsätzlich lässt sich die Veränderung der „mittleren Immission“ aus einem Vergleich der Sendeleistungen für ein betroffenes Gebiet[3] abschätzen. Hieraus lässt sich schließen, dass die mittlere Immission bei einer flächendeckenden LTE-Versorgung unter der Voraussetzung maximaler Sendeleistung um das ca. 5- bis 10-fache höher sein dürfte als bei DVB-T-Versorgung des Gebietes. Dieser Unterschied wird sich aber bei einem realen Vergleich beider Systeme durch die Sendeleistungsregelung bei LTE wieder teilweise egalisieren. Bei der LTE-Sendeleistungsregelung können nämlich nicht mit Dateninformationen belegte Ressourcen vorübergehend abgeschaltet (ausgetastet) werden, was die effektive Sendeleistung reduziert. Der Grad der Sendeleistungsreduzierung hängt hierbei von der Verkehrsauslastung der Basisstation und deren Systemkonfiguration ab.

In diesem Zusammenhang ist auch zu erwähnen, dass das Frequenzspektrum in Zukunft intensiver genutzt werden wird, z. B. aufgrund dynamischer Frequenzallokationen für Funkübertragungssysteme („software defined radio“).

---

[2] DVB-T kann mit tragbaren ("portable") Geräten überall im Haus ("indoor") mit einer kleinen Stabantenne empfangen werden.

[3] So kann man beispielsweise den typischen Versorgungsradius eines DVB-T-Senders mit 50 km abschätzen (Versorgungsfläche 7 850 km²) bei einer Sendeleistung von 50 kW bis 100 kW (ERP) mit einem Gewinn von 14,5 dBd, d. h. einer Antenneneingangsleistung von ca. 2 kW bis 4 kW. Bei einer ländlichen LTE-800-Basisstation beträgt der Zellradius etwa 5 km (Versorgungsfläche 78,5 km²), die typischen Antenneneingangsleistungen liegen bei 240 W für eine Anordnung von 3 Sektoren mit je 2 Antennen (MIMO) mit Sendeleistungen von je 40 W. Für die gleiche Versorgungsfläche wie bei DVB-T wären also 100 LTE-Sender notwendig; dies entspräche einer gesamten Antenneneingangsleistung von 24 kW.

2.2 Verkehrswesen

2.2.1 Funkanwendungen im Fahrzeugbereich

Antikollisionssysteme mit Hilfe von Abstandsradar sind bereits serienreif und werden in immer mehr Fahrzeugen installiert. Typische HF-Sendeleistungen liegen im Bereich 5 mW bis 20 mW, die Frequenz im Bereich 76 GHz bis 77 GHz oder 24 GHz. Mittlerweile erfolgt eine Massenanwendung durch Serieneinsatz auch in Mittelklasse-PKW-Modellen ab Baujahr 2012.

Für die Funktechnologie zur Kommunikation von Fahrzeugen untereinander (Car2Car) ist der Standard IEEE 802.11p vorgesehen, seine Umsetzung ist jedoch noch nicht abgeschlossen Für die Kommunikation von Fahrzeugen zu ortsfesten Einrichtungen (Car2Infrastructure, Car2I) kommen eine Vielzahl von Systemen und Standards in Betracht (z. B. IEEE802.11a,b,g, GSM/UMTS/HSPA/LTE, WiMAX, DVB). Im typischen Anwendungsfall senden die Fahrzeuge alle 100 ms einen Impuls. Die Hauptantenne ist häufig in der Dachfinne des Fahrzeugs untergebracht, zusätzliche Antennen sind aber auch an weiteren Einbauorten möglich. Angestrebt wird eine isotrope Abstrahlcharakteristik in der Horizontalebene.

Bei Car2Car und Car2I ist zu berücksichtigen, dass erst ab einer ausreichenden Dichte von Fahrzeugen mit installierten Geräten beabsichtigte Systemfunktionen möglich werden. Meist wird hierfür eine Mindestquote von ca. 15 % genannt.

Die ortsfesten Systeme für die Verkehrskommunikation (Road Site Units) werden aus Kostengründen nicht flächendeckend errichtet, sondern nur an Brennpunkten, wie z. B. Bahnübergängen, Ampeln oder an Schulen.

Eine weitere technologische Entwicklung im Fahrzeugsektor betrifft fahrerlose Fahrzeuge (autonomes Auto). Derzeit gibt es hierzu in Deutschland erste Realisierungen (z. B. „AutoNOMOS Labs“-Projekt des Bundesforschungsministeriums). Beim fahrerlosen Fahrzeug regelt der Computer über das Drive-By-Wire-System Bremse, Gaspedal und Lenkung. Andere Autos und Passanten werden über Laser-Scanner, Radar und Videokameras erfasst. Durch Schirmung des Fahrzeuginneren ist die hochfrequente Strahlung primär für andere Verkehrsteilnehmer bzw. Passanten relevant, z. B. durch Radar. Daten zu Sendeleistungen sind derzeit noch nicht bekannt, sollten sich aber in einer ersten Annahme in derselben Größenordnung wie beim Abstandsradar bewegen.

Drahtlose Netzwerke innerhalb des Autos werden hauptsächlich auf WLAN- oder Bluetooth-Basis realisiert. Hierfür werden autoseitig industriell etablierte Standardlösungen in Form von hochintegrierten Modulen eingesetzt (d. h. WLAN nach IEEE802.11b oder g Standard mit 10 mW bis 100 mW EIRP und Bluetooth nach IEEE802.15.1 mit 2 mW, alles bei 2,4 GHz bis 2,5 GHz).

2.2.2 Elektro- und Hybridfahrzeuge

Alternative Antriebskonzepte für Kraftfahrzeuge sind in den vergangenen Jahren zunehmend in den Fokus der öffentlichen Diskussion gerückt. Zu den derzeit prominentesten Konzepten zählen Elektro-Hybridantriebe und reine Elektroantriebe, die gegenwärtig von einigen Automobilherstellern bereits in Serienfahrzeugen realisiert werden. Mit solchen Antriebskonzepten ist der Umstand verknüpft, dass leistungsstarke elektrische und elektronische Komponenten (Elektromotoren, Batterien, Umrichter und Zuleitungen) im Auto eingebaut sind und sich damit in unmittelbarer Nähe zu den Fahrzeuginsassen befinden. Die elektrischen Felder dieser Komponenten werden weitgehend von der Metallkarosserie des Fahrzeugs abgeschirmt. Die magnetischen Felder sind dagegen für die Expositionsbeurteilung der

Fahrzeuginsassen in der Regel relevant, was die Frage nach der Sicherheit medizinischer Implantate mit beinhaltet.

Schmid et al. (2009) haben die Magnetfeldimmissionen in ausgewählten Vertretern von Fahrzeugen mit Hybrid- oder Elektroantrieb messtechnisch erhoben und strahlenschutztechnisch beurteilt. Untersucht wurden Hybrid-PKWs, PKWs mit reinem Elektroantrieb, Hybrid-Nutzfahrzeuge und ein Hybrid-Nahverkehrsbus. Es wurde ermittelt, dass sich die relevanten Spektralanteile auf den Frequenzbereich unterhalb von ca. 80 kHz beschränkten.

In den untersuchten Hybrid-PKWs lagen die lokal auftretenden Maximalimmissionen zwischen 29 % und 35 % der Referenzwerte der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG. In den untersuchten Elektrofahrzeugen wurden Werte zwischen 3 % und 25 % ermittelt. Diese Maximalwerte traten in den meisten Fällen lokal stark begrenzt am Fahrer- und Beifahrerplatz typischerweise im Fuß- und Unterschenkelbereich primär während des Bremsens und Beschleunigens auf. Während annähernd stationärer Fahrverhältnisse lagen die Immissionswerte teilweise deutlich unter den genannten Maximalwerten. Im untersuchten Nahverkehrsbus wurden am exponiertesten Fahrgastplatz bis zu 19 % des Referenzwertes der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG erreicht.

Die erhobenen Maximalwerte liegen in ähnlicher Größenordnung wie die Immissionen im Fahrgastbereich von Eisenbahnzügen. Da sich in der Zukunft die Anzahl verfügbarer Fahrzeuge mit Elektroantrieb rasant erhöhen wird und deren elektrische Betriebsparameter verändern dürften, sollte die Exposition technikbegleitend überwacht werden.

2.3 Energieübertragung

2.3.1 Berührungslose Energieübertragung

Mit Hilfe der berührungslosen Energieübertragung können ortsveränderliche elektrische Verbraucher kontakt- und damit kabellos aufgeladen werden. Mögliche Anwendungsbereiche dieser Technologie sind Consumergeräte (z. B. Handys, Smartphones, Tablets oder Kameras) sowie der Automobilbereich (Laden von Elektrofahrzeugen). Die kabellose Ladetechnik funktioniert nach dem Prinzip des Transformators und beruht damit auf der magnetischen Induktion: Ein in einer Sendespule (Transmitter) fließender Wechselstrom erzeugt ein sich zeitlich änderndes Magnetfeld, das in einer Empfängerspule (Receiver) eine Wechselspannung induziert. Meistens handelt es sich um Planarspulen, die über einen Abstand („Luftspalt“) parallel zueinander angeordnet sind. Der Wirkungsgrad dieser Art der Energieübertragung ist primär von den Spulengrößen und ihrem Abstand sowie der verwendeten Frequenz abhängig. Er ist grundsätzlich schlechter als bei klassischen Transformatoren, da der gewünschte Bedienkomfort – einfaches Aufeinanderlegen bzw. Platzieren der beiden Spulen – das Vorhandensein eines Luftspaltes im Gegensatz zum geschlossenen magnetischen Kreis des Transformators erforderlich macht. Durch diesen Luftspalt ist auch ein höheres magnetisches Streufeld vorhanden, das grundsätzlich relevant für eine Exposition sein kann. Im Folgenden seien zunächst zwei aktuell sich am Markt etablierende Anwendungen erläutert. Danach werden absehbare technologische Trends aufgezeigt, um abschließend die Konsequenzen für die Expositionsbewertung zu diskutieren.

Für das kabellose Laden von mobilen Elektrogeräten hat das Wireless Power Consortium (WPC) eine einheitliche Spezifikation namens „Qi“ verabschiedet. Dieser offene Standard erlaubt Energieübertragungen bis zu 5 W mit einer Spulengröße von ca. 40 x 40 mm², die Erweiterung auf 35 W wird derzeit definiert. Die Übertragungsfrequenz beträgt je nach benötigter Leistung zwischen 110 kHz und 205 kHz. Die aufzuladenden Geräte werden auf einer speziellen Ladefläche (Lade-Pad) abgelegt, die die Geräte erkennt und den Ladevorgang startet. Mit Hilfe einer „Foreign Object Detection“ ist es möglich, Gegenstände aus

Metallteilen auf dem Lade-Pad zu detektieren und den Ladevorgang beim Überschreiten einer programmierten Verlustschwelle abzubrechen, da sich ansonsten die Metallteile durch die induzierten Wirbelströme stark erhitzen könnten. Derzeit ist der Qi-Standard das am weitesten verbreitete System für drahtloses Laden.

Für das kabellose Laden von Elektrofahrzeugen hat eine aus OEM, Zulieferern und Instituten bestehende Interessensgemeinschaft eine Anwenderregel (VDE 2011) erarbeitet, in der u. a. die technischen Parameter dieser Technologie und die Schutzziele definiert sind. Die Systemfrequenz liegt bei 140 kHz (-20 kHz, +50 kHz) und die maximale Eingangsleistung bei 3,68 kW. Bei einem angestrebten Wirkungsgrad von mehr als 90 % entspricht dies einer auf dem Fahrzeug verfügbaren Übergabeleistung von mehr als 3,3 kW. Die Sendespule ist als „stationäre Feldplatte“ primär unter dem Fahrzeug angeordnet, d. h. im Erdboden bündig zur Straßenoberfläche eingelassen oder auf dem Boden aufliegend. Die angestrebte Spulenfläche von 1000 x 1000 mm² ist im Vergleich zur „Qi“-Spezifikation sehr groß, um insbesondere die magnetische Flussdichte klein halten zu können. Gleichzeitig definiert die Anwenderregel bezüglich des Schutzes von Personen in magnetischen Feldern so genannte Schutzziele: Im „öffentlichen Bereich“ (Bereich neben, vor und hinter dem Fahrzeug) sowie im Innenraum des Fahrzeugs darf für die magnetische Flussdichte der Referenzwert der ICNIRP 1998 für die Allgemeinbevölkerung (d. h. z. B. 6,25 µT bei 140 kHz) nicht überschritten werden. Bei Überschreitung dieses Referenzwertes ist der Nachweis der Einhaltung der Basisgrenzwerte zu erbringen.

Bereits diese beiden Anwendungen sind hinsichtlich möglicher Expositionsszenarien aufgrund der derzeit fehlenden Daten noch nicht endgültig beurteilbar. Es kann jedoch grundsätzlich konstatiert werden, dass im eigentlichen Bereich der Übertragung, d. h. im Luftspalt zwischen den beiden Spulen, die Referenzfeldstärken für die Personenexposition bei der jeweiligen Betriebsfrequenz überschritten werden können. Dementsprechend ist das Streufeld des Luftspaltes um die Spulenanordnung grundsätzlich expositionsrelevant und wirft die Frage nach der Zugänglichkeit dieser Bereiche, d. h. zumindest in der Praxis konkret möglicher Teilkörperexpositionen, auf. Weiterhin ist derzeit wenig bekannt zum realen Sicherheitsniveau der Gesamtsysteme. Den zugänglichen technischen Spezifikationen der Hersteller sind zwar entsprechende Detektions- und Sicherheitsmaßnahmen zu entnehmen, aber es gibt praktisch noch keine von unabhängigen Stellen in realen Versuchen ermittelten Expositionsdaten für vorstellbare „worst-case-Fälle“.

Auf der anderen Seite wird der beabsichtigte Komfortgewinn für den Verbraucher und damit der wirtschaftliche Erfolg und die Marktdurchdringung dieser Systeme als erheblich eingeschätzt, weil nicht nur auf die Kabel zum Nachladen verzichtet werden kann, sondern sich die Frage der Kompatibilität zwischen verschiedenen Steckern überhaupt nicht mehr stellt (beabsichtigtes Fernziel: Jedes Smartphone oder Tablet kann auf jede Ladematte gelegt werden, die ubiquitär wie z. B. Steckdosen vorhanden sein sollen; auf jedem Parkplatz befinden sich induktive Ladestationen für Elektroautos).

Seit einigen Jahren gibt es deshalb weitere Konsortien, die das induktive und damit kabellose Aufladen der Akkus in portabler Elektronik, insbesondere bei Handys, Smartphones und Laptops, durch entsprechende Standardisierung als Massenprodukt realisieren wollen (siehe z. B. Heise 2012). Abweichend zum o. a. Qi-Standard sollen höhere Frequenzen im Bereich um 6,78 MHz und 13,56 MHz und auch größere Luftspalte mit einigen mm Abstand genutzt werden, letzteres verstärkt die Streufeldproblematik.

Die Streufeldproblematik beim Laden von Elektroautos in der o. a. Konfiguration hat zu weiteren Entwicklungen geführt. Ein System steht kurz vor der Markteinführung und arbeitet mit einer flächenmäßig kleineren Spulenanordnung und kleinerem Luftspalt, wobei die

Fahrzeugspule im Vorderbereich des Fahrzeugs verbaut wird und das Fahrzeug entsprechend nahe an eine Wand mit der passenden Senderspule herangefahren werden muss.

Die Entwicklung der induktiven Ladetechnologien wird deshalb in Bezug auf die Personenexposition kritisch zu begleiten sein.

2.3.2 Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ)

Die forcierte Nutzung erneuerbarer Energie und die langen Entfernungen zwischen Erzeugungs- und Verbrauchsstätten elektrischer Energie machen den Ausbau neuer Langstrecken-Energieübertragungssysteme erforderlich. Diese umfassen auch Hochspannungs-Gleichstromübertragungsleitungen (HGÜ-Freileitungen), die mit Nennspannungen über 500 kV betrieben werden sollen. Wie bei Hochspannungs-Wechselstromleitungen (HWÜ-Freileitungen) kommt es auch an den HGÜ-Leiterseilen wegen der dort herrschenden hohen elektrischen Feldstärken zu Mikroentladungen (Koronaentladungen) und damit zur Ionisation der Luft. Im Gegensatz zu HWÜ-Freileitungen wechselt jedoch die Polarität der HGÜ-Leiter nicht ständig, so dass sich um die Leiter eine Raumladungswolke geladener Teilchen ausbilden kann. Dadurch kommt es im Vergleich zu HWÜ-Freileitungen zu höheren elektrischen Bodenfeldstärken. Durch Windverfrachtung der Ladungswolken kann es darüber hinaus zur erheblichen Ausbreitung des durch elektrische Feldstärken exponierten Bereiches kommen. Die magnetischen Gleichfelder von HGÜ-Freileitungen hängen von der Betriebsart (monopolar oder bipolar) und der Leiterkonfiguration ab. Wegen der schlechteren Kompensationswirkung sind die magnetischen Immissionen und ihre Reichweite zwar größer als bei HWÜ-Freileitungen, die Flussdichten liegen jedoch innerhalb des Variationsbereiches des natürlichen Erdmagnetfeldes, das bereits jetzt im Alltag wegen der Verzerrung durch ferromagnetische Objekte (z. B. Verkehrsmittel, Betonbewehrungen oder Alltagsgegenstände) lokal erhebliche Unterschiede aufweist .

2.4 Gesundheitswesen

2.4.1 Funkanwendungen im Gesundheitswesen

Die Nutzung von Handys im Nahbereich elektromedizinischer Geräte kann zu einer Störbeeinflussung führen. In der Norm DIN EN 60601-1-2 (Elektromagnetische Verträglichkeit medizinischer elektrischer Geräte) ist u. a. – abhängig von der Sendeleistung – auch ein Sicherheitsabstand gefordert. Er liegt für Handys in der Größenordnung von 2 m. Kritische Medizingeräte gibt es vor allem im OP-Bereich und auf Intensivstationen.

Als neue Anwendungen im Krankenhausbereich sind das „Bedsidemonitoring“ (Echtzeit-Erfassung von physiologischen Parametern wie Blutdruck, Puls und EEG) und die drahtlose Weitergabe der Daten anzusehen.

2.4.2 Medizinische Anwendungen

Im Bereich der medizinischen Diagnostik und Therapie nimmt die Anwendung elektromagnetischer Felder mit hohen Stärken zu. Dies führt nicht nur für den Patienten, sondern auch für das medizinische und technische Personal zu höheren Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern. Dies trifft insbesondere auf die Magnetresonanz-Tomografie (MRT) zu, wo bereits Geräte mit 7 T statischem Magnetfeld und 298 MHz Anregungsfeldern in den klinischen Routinebetrieb Einzug finden und in absehbarer Zukunft auch Geräte bis zu 12 T statischen Magnetfeldern und 511 MHz Hochfrequenzfeldern zu erwarten sind.

Im Bereich der medizinischen Überwachung nehmen telemedizinische Anwendungen mit ständig am Körper getragenen Sensoren zur Erfassung elektrophysiologischer Signale und biochemischer Veränderungen, verbunden mit drahtlosen Kommunikationsgeräten zu. Die Sendeleistungen sind vergleichbar mit jenen von Handys. Die Kommunikation mit Gateways bzw. Basisstationen erfolgt mehrmals täglich, bei Überwachung mit Alarmierung bei bedrohlichen Ereignissen auch kontinuierlich.

2.5 Sonstiges

2.5.1 Terahertz

Der THz-Frequenzbereich oberhalb 100 GHz bis zum FIR (Ferninfrarot) bei 10 THz wird durch eine stürmische technologische Entwicklung charakterisiert. Dies betrifft insbesondere die verfügbaren Strahlungsquellen, wie es z. B. bereits bei den Autoradaren bei etwas niedrigeren Frequenzen schon in den letzten Jahren der Fall war.

Als technische Applikationen mit potentieller Exposition der Bevölkerung sind derzeit absehbar die sogenannten "Körperscanner" für die Personenkontrolle an Flughäfen, Gerichten etc. sowie die Realisierung der drahtlosen Nahbereichskommunikation mit extrem hoher Datenrate (über 100 Megabit/s) für den Abstandsbereich kleiner als 10 m, wie sie z. B. für die drahtlose HDTV-Videoübertragung erforderlich wäre.

Zu dieser Entwicklung gibt es einen aktuellen Bericht der Universität Wuppertal (Clemens et al. 2011) hinsichtlich der durch Terahertz verursachten Immissionen, weiterhin liefert ein aktueller Übersichtsartikel des IEEE Spectrum (Armstrong 2012) nähere Informationen zur Entwicklung der THz-Technologie. Insgesamt ist festzuhalten, dass trotz der Fortschritte in der Technologie in den nächsten Jahren keine THz-Quellen für die genannten Zwecke als Massenprodukt erhältlich sein werden, die mit Ausgangsleistungen im Bereich oberhalb von 10 mW arbeiten. Typische heute verfügbare Applikationen liegen deutlich unterhalb 1 mW, und die einzige denkbare in den nächsten Jahren mit entsprechender Exposition von Personen dürfte die zweite Generation der Körperscanner für die Personenkontrolle an Flughäfen sein.

2.5.2 LED und Kompaktleuchtstofflampen

Seit der Verabschiedung des Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetzes im Jahr 2008 (EVPG 2008) und dem stufenweisen Verbot des Verkaufs von herkömmlichen Glühlampen kommen immer mehr alternative Lichtquellen in den Verkauf, insbesondere Kompaktleuchtstofflampen (KL; oft auch „Energiesparlampen“ genannt) und Licht emittierende Dioden (LED). Gegenüber Glühlampen ist das Spektrum von KL und weißen LEDs diskontinuierlich, meist mit einem höheren Blaulichtanteil. Der Betrieb von LEDs erfolgt in der Regel durch Gleichstrom, während KL durch hochfrequente Wechselspannung betrieben werden, der in einem in den Lampen integrierten Vorschaltgerät erzeugt wird. Durch den Betrieb von KL entstehen daher hochfrequente elektrische und magnetische Felder im Bereich zwischen 10 kHz und 100 kHz, die jedoch in den für die Nutzung relevanten Abständen die Referenzwerte nicht überschreiten. Die SSK hat sich mit dieser Thematik im Rahmen einer Stellungnahme eingehend befasst (SSK 2010).

2.5.3 Funktionelle Kleidung

Funktionelle Kleidung mit integrierter Elektronik führt zu großflächigem Körperkontakt mit stromdurchflossenen Leitungsgeflechten und/oder mit in Form flexibler Nanostrukturen realisierten elektronischen Schaltungen. Die Anwendungen umfassen integrierte flächige Mobilfunkantennen, die die lokale Exposition der Körperoberfläche gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern erhöhen. Sensorkleidung dient zur Erfassung

von elektrischen und biochemischen Biosignalen zur medizinischen Diagnostik und Therapie, aber auch in Sport- und Arbeitskleidung zur Überwachung und Erfassung von Körperparametern (z. B. der Temperatur) zur aktiven Regulation (Erwärmung oder Kühlung) zur Verbesserung der Behaglichkeit.

Weitere Anwendungen von „smarten Textilien“ beziehen sich auf die Integration diskreter elektronischer Bauteile wie Licht emittierender Dioden (LEDs) in Kleidung oder die Verwendung von Textilien mit integrierten flexiblen und waschbaren Nanostrukturen zur Erzielung optischer Beleuchtungseffekte um die Sichtbarkeit zu erhöhen, für Schutzzwecke oder als modisches Element. Trotz geringer Ströme können sich wegen des geringen Körperabstandes Oberflächenexpositionen im mT-Bereich ergeben.

2.5.4 Radio Frequency Identification (RFID)

Die Anwendung von drahtlosen Identifikationssystemen zur Erkennung von Produkten, Gegenständen und Personen (RFID) hat zu einer großen Verbreitung von sichtbar und verdeckt montierten Kontroll-Schleusen geführt, in denen Personen der Allgemeinbevölkerung magnetischen und elektromagnetischen Feldern mit den für derartige Zwecke freigegebenen Frequenzen im Niederfrequenz- und Hochfrequenzbereich exponiert werden. Die maximalen Emissionen verschiedener auf dem Markt verkauften Anlagen schwanken um mehrere Größenordnungen und können dabei Immissionen verursachen, die den Referenzwert der ICNIRP erheblich überschreiten. Überschreitungen des Basisgrenzwertes sind zwar nicht berichtet worden, eine Störbeeinflussung von elektronischen Implantaten ist jedoch möglich. Neue Entwicklungen umfassen Nahfeld-Identifizierungsgeräte (near field communication), die das Auslesen von RFID-Chips mit geringem Abstand erlauben, z. B. für implantierte RFID-Chips oder aufkaschierte RFID-Nanogrids sowie für Bezahlvorgänge mit Handys/ Smartphones oder RFID-Cards.

Elektronische Warensicherungssysteme (Diebstahlschutz) können ebenfalls mit RFID-Chips realisiert werden, derzeit sind allerdings Etiketten im Einsatz, die einen Schwingkreis darstellen und bei Durchschreiten eines Detektionsspulenpaars einen Alarm auslösen. Üblicherweise liegt die Frequenz dieser Systeme bei 8,2 MHz. Zur Deaktivierung dieser Etiketten wird an der Kasse ein hochfrequentes Feld appliziert, das dazu führt, dass der Kondensator des Schwingkreises irreversibel verändert wird.

3 Zusammenfassung

Im Bereich der Nutzung elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder für die verschiedensten Zwecke hat es in den vergangenen Jahren Entwicklungen gegeben, die hinsichtlich der Auswirkung auf die Expositionsverhältnisse von unterschiedlicher Relevanz sind. Die Bewertungen, die bereits für verschiedene Bereiche (z. B. für elektromagnetische Emissionen moderner Lichtquellen) in Stellungnahmen der SSK veröffentlicht wurden, sollen durch die folgenden Betrachtungen ergänzt werden.

Die Nutzung elektromagnetischer Felder zur Kommunikation hat in den letzten Jahren stetig zugenommen und wird weiter zunehmen. Dies liegt nicht nur an dem wachsenden Bedarf der Endkunden (höhere Übertragungsraten und deutlich größere Datenmengen) bei gleichzeitig fallenden Preisen bzw. Flatrates, sondern auch an technischen Entwicklungen im Bereich der Endgeräte (z. B. Smartphones, Tablets). Die Verfügbarkeit der notwendigen Infrastruktur ist praktisch kein limitierender Faktor mehr – man kann heute bereits fast überall und immer mit dem „Netz“ verbunden sein.

Die Immission durch Basisstationen wird insbesondere durch die Einführung des neuen Standards LTE zunehmen, wenngleich noch nicht ausreichend genau abgeschätzt werden kann, wie hoch die zusätzliche Immission sein wird, da diesbezüglich viele Faktoren eine Rolle spielen (z. B. Leistungsregelung, dynamische Frequenzallokationen). Die weitaus wichtigsten EMF-Quellen werden jedoch nach wie vor die Endgeräte sein, wobei festzustellen ist, dass das Nutzerverhalten starken Änderungen unterworfen ist (z. B. weniger Telefonieren am Kopf, vermehrte Nutzung von Freisprecheinrichtungen und SMS).

Hinsichtlich der zunehmenden Installation von Access Points (WLAN) im privaten und öffentlichen Bereich sind ähnliche Entwicklungen zu erwarten, wenngleich die Sendeleistungen hier generell geringer sind. Aber auch hier sind die dominierenden Immissionsquellen die Endgeräte. Access Points wie WLAN-Stationen sind künftig auch als Bestandteil des Mobilfunk-Netzes (Femtozellen) vorgesehen. Hier ist in naher Zukunft mit der Nutzung weiterer Frequenzbereiche zu rechnen.

Anders ist die Situation im Bereich der Radio Frequency Identification (RFID). Diese Technologie wurde für das drahtlose Identifizieren von Gegenständen, Produkten und Personen entwickelt. Die beim Scannen oder beim Durchschreiten von Schleusen auftretenden elektromagnetischen bzw. magnetischen Felder überschreiten die Referenzwerte der ICNIRP zum Teil deutlich, wenngleich in der Regel für die Allgemeinbevölkerung nur kurzfristig. Als Folge der mehr als 100fachen Anhebung der Referenzwerte im RFID-genutzten Zwischenfrequenzbereich (ICNIRP 2010) sind jedoch deutlich höhere Immissionspegel in Zukunft nicht auszuschließen.

Die aus Sicht der SSK größten Änderungen im Bereich der Emissionen und Immission sind im Bereich des Verkehrswesens und der Energieübertragung zu erwarten. Die Kommunikation von Fahrzeugen untereinander (Car2Car) bzw. von Fahrzeugen zu ortsfester Infrastruktur (Car2I) ist durch die Entwicklung der entsprechenden Standards vorbereitet und wird in naher Zukunft neben den bereits im Einsatz befindlichen Antikollisionssystemen im Radar-Frequenzbereich vermehrt zum Einsatz kommen. Hierdurch ist mit einer erhöhten Exposition insbesondere von Passanten zu rechnen, wenngleich mit Grenzwertüberschreitungen auch bei flächendeckendem Einsatz solcher Systeme nicht zu rechnen ist.

In Elektro- bzw. Hybrid-Fahrzeugen (PKW, Busse) werden durch die Elektromotoren und deren Zuleitungen Magnetfelder erzeugt, die in bestimmten Fahrzeugbereichen (z. B. Fußraum) den Referenzwert der EU-Ratsempfehlung derzeit bereits bis zu 35% ausschöpfen können. Hier sollten technikbegleitend Messungen durchgeführt und Maßnahmen zur Minimierung der Exposition vorgenommen werden. Ähnliches gilt für das kabellose Laden solcher Fahrzeuge durch Induktionsspulen, die im Frequenzbereich von 20 kHz-140 kHz Leistungen von über 3 kW übertragen. Solche Systeme können im Randbereich der Übertragungsspulen und bei ungünstiger Positionierung des Fahrzeuges für die Teilkörperexposition relevante Größenordnungen erreichen oder sogar Referenzwerte überschreiten. Daher sind in diesem Bereich technikbegleitende Messungen und Verringerungen der Expositionen sowie Sicherstellung der Zugangsbereiche notwendig.

Aus Sicht der SSK sind angesichts der Zunahme elektromagnetischer bzw. magnetischer Felder in Zukunft zwei Aspekte besonders zu beachten.

Zum einen bedarf es einer Erfassung des elektromagnetischen „Hintergrundpegels“, insbesondere unter Einbeziehung der Immissionen im gesamten Frequenzbereich. Wegen der intensiveren Nutzung bestehender und der zunehmenden Erschließung immer neuer Frequenzbereiche ist von einer Erhöhung des Pegels elektromagnetischer Felder im Alltag auszugehen. Dieser Hintergrundpegel ist durch entsprechende Messungen und Analysen zu ermitteln. Dazu ist auch die Weiterentwicklung der Messmethodik unverzichtbar.

Zum anderen kommt es zu einer Änderung der Expositionsbedingungen durch die verstärkte gleichzeitige Nutzung von immer mehr Geräten durch immer mehr Menschen auf immer vielfältigere Weise. Angesichts der extremen Spannweite der Frequenzen und Modulationen sowie der zunehmenden Breitbandigkeit der Immissionen ist zur Ermittlung der Exposition die bisherige Methode der „Peak-Summation“ auf erweiterter wissenschaftlicher Basis zu verbessern und zu ergänzen.

Die Strahlenschutzkommission (SSK) hat schon in der Vergangenheit darauf hingewiesen, dass bereits bei der Konstruktion von Geräten eine Minimierung der Emissionen und der Exposition der Nutzer anzustreben ist, insbesondere wenn technisch und wirtschaftlich gleichwertige Alternativen bestehen (SSK 2001, SSK 2003). Der vorliegende Bericht beinhaltet daher nicht die Diskussion und die technologischen Möglichkeiten für eine Minimierung der Gesamtexposition.

Tab. 1: Überblick über neue und in Entwicklung befindliche Telekommunikationssysteme sowie zur drahtlosen Energieübertragung (Funkanwendungen) [4]

Funkanwendung, Benutzer	**Frequenzbereich**	**Modulation / Codierung**	**Leistung**	**Sender-abdeckung bzw. -reichweite**	**Entfernung zu Personen**	**Sicherheitsabstand**	**Stückzahl / Versorgungsgebiet**
Car2Car Fahrzeug	Frequenzbereich um 5,9 GHz	abhängig vom eingesetzten Funksystem	max. 2 W (EIRP) im Puls, Leistungsregelung in 0,5 dB-Schritten	bis 1000 m Reichweite gefordert (mehr ist möglich)	körperfern[5] (Passanten), körpernah[6] (Insassen)	einige Dezimeter	ab 2015 Serienaus-stattung in Fahrzeugen angestrebt: langfristig für alle Fahrzeuge.
Car2I Road Site Unit (Hotspots wie Bahnübergänge, Ampeln, Schulen, jedoch nicht flächendeckend)	Frequenzbereich um 5,9 GHz	abhängig vom eingesetzten Funksystem	max. 2 W (EIRP) im Puls, Leistungsregelung in 0,5 dB-Schritten	bis 1000 m Reichweite gefordert (mehr ist möglich)	i. d. R. körperfern	einige Dezimeter	ab 2015 flächendeckend an Hotspots.

[4] Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis am Ende des Berichtes.

[5] Körperfern: Hierunter sind HF-Quellen zu verstehen, die körperfern in Abständen betrieben werden, bei denen Fernfeld-Näherungen für die Berechnungen der auf den Körper wirkenden Felder zum Einsatz kommen können, wie z. B. Mobilfunk-Basisstationen oder Rundfunk- und Fernsehsendeanlagen.

[6] Körpernah: Hierunter sind HF-Quellen zu verstehen, die typischerweise in Abständen von Zentimetern bis Dezimetern zum menschlichen Körper betrieben werden, wie z. B. ein Notebook auf dem Schreibtisch mit Funkschnittstelle, ein WLAN-Router auf oder unter dem Schreibtisch oder eine Basisstation für ein DECT-Schnurlostelefon in Griffweite.

Funkanwendung, Benutzer	**Frequenzbereich**	**Modulation / Codierung**	**Leistung**	**Sender-abdeckung bzw. -reichweite**	**Entfernung zu Personen**	**Sicherheitsabstand**	**Stückzahl / Versorgungsgebiet**
Mobilfunk/LTE Sender, Betreiber öffentlicher Netze	791-821 MHz (LTE-800) 1805 MHz - 1825 MHz (LTE-1800) 1853,1 MHz - 1875,5 MHz (LTE 1800) weitere Frequenzen bei 2 GHz und 2,6 GHz	QPSK, 16-QAM, 64-QAM / OFDMA	20 W bis 50 W bei Outdoor-Anlagen pro Kanal, Leistungs-regelung	Zellradien: Land 5 km, Stadt wenige 100 m, bundesweit	körperfern	einige Meter, entsprechend Standort-bescheinigung	> 10.000 /gesamtes Gebiet der Bundesrepublik
Mobilfunk/LTE Sender, Betreiber öffentlicher Netze bei Innenraum-anwendungen (Indoor-versorgung und Femtozellen)	791 MHz - 821 MHz (LTE-800) 1805 MHz - 1825 MHz (LTE-1800) 1853,1 MHz - 1875,5 MHz (LTE 1800) weitere Frequenzen bei 2 GHz und 2,6 GHz	QPSK, 16-QAM, 64-QAM / OFDMA	derzeit heterogen	Zellradien: einige 10 m	körperfern (Decken- und Wand-montage)	einige Zentimeter, Notwendigkeit einer StOB wird derzeit noch diskutiert	100.000 (5 Jahreszeitraum)

Funkanwendung, Benutzer	**Frequenzbereich**	**Modulation / Codierung**	**Leistung**	**Sender-abdeckung bzw. -reichweite**	**Entfernung zu Personen**	**Sicherheitsabstand**	**Stückzahl / Versorgungsgebiet**
Mobilfunk/LTE Mobilteil, „Jedermann“	832 MHz - 862 MHz (LTE-800) 1710 MHz - 1730 MHz (LTE-1800) 1758,1 MHz - 1780,5 MHz (LTE-1800) weitere Frequenzen bei 2 GHz und 2,6 GHz	QPSK, 16-QAM, 64-QAM / SC-FDMA	max. 200 mW, Leistungs-regelung	bis 5 km	Körperkontakt (Arme, Ohr, Brust, Hüftbereich) bei Surfstick und Smartphone, körpernah bei Router	Mobiltelefon: keiner; andere Geräte: gemäß Bedienungsanleitung (bis einige Zentimeter)	1-10 Mio. (5 Jahreszeitraum)
Mobilfunk/ TETRA BOS Sender (Basisstation)	390 MHz - 395 MHz	π/4-DQPSK / TDMA	bis zu 40 W pro Kanal, 1 bis 8 Kanäle; keine Leistungs-regelung im Kanal	Zellradien: Land 10 km-40 km, Innenstadt 1 km-5 km, bundesweit	körperfern	einige Meter, entsprechend Standort-bescheinigung	4.300 - 4.500 gesamtes Gebiet der Bundesrepublik
Mobilfunk/ TETRA BOS Mobilteil	380 MHz - 385 MHz	π/4-DQPSK / TDMA	max. 250 mW (bei 1 von 4 Zeitschlitzen aktiv), max. 1 W sofern alle 4 Zeitschlitze aktiv, Leistungs-regelung	Zellradien: Land 10 km-40 km, Innenstadt 1 km-5 km	Körperkontakt Handgerät (Kopf, Gürtel, Bauch), körpernah (fahrzeug-gebundenes Mobilsprech-gerät)	bei typ. Nutzung (1 von 4 Zeitschlitzen aktiv) kein Sicherheitsabstand erforderlich	500.000 (für diese Teilnehmerzahl ist das Netz ausgelegt)

Funkanwendung, Benutzer	Frequenzbereich	Modulation / Codierung	Leistung	Sender-abdeckung bzw. -reichweite	Entfernung zu Personen	Sicherheitsabstand	Stückzahl / Versorgungsgebiet
UWB	Frequenz-zuteilungen 1,6 GHz bis <10,6 GHz durch BNetzA derzeit genutzter Einsatzbereich 3,1 GHz bis 10,6 GHz	Impulsradio, Direct Sequence UWB, Multiband-OFDM UWB	maximal 1 mW, zusätzlich Spektrumsmaske für einzelne Frequenzteil-bereiche	Reichweite einige m	körpernah	nicht erforderlich	schwer abzuschätzen (Der ursprünglich prognostizierte Boom ist bislang ausgeblieben.)
Femtozellen	in Übereinstimmung mit dem jeweiligen Mobilfunksystem, z. B. UMTS/HSPA	in Über-einstimmung mit dem jeweiligen Mobilfunk-system, z. B. UMTS/HSPA	keine belastbaren Daten	einige Meter bzw. einige 10 Meter	körperfern bis körpernah	bei typischen Montagepositionen nicht erforderlich	keine belastbaren Daten
Elektro-/ Hybridfahrzeuge	von Gleichfeldern bis in den kHz-Bereich	nicht zutreffend	nicht zutreffend	nicht zutreffend	körpernah	nicht erforderlich	ca. 4 500 Elektroautos und 48 000 Hybridautos (Q1 2012), rasantes Wachstum prognostiziert
WLAN	5 GHz - 6 GHz 2,4 GHz-2,5 GHz	OFDM Spread Spectrum, Hybrid Direkt-Sequenz und Frequenz-Hopping	1 mW - 1 W	bis 100 m	körpernah	nicht erforderlich	> 1 Million, kleinräumig, bundesweites Netz möglich
Berührungslose Energieübertragung	110 kHz - 205 kHz (Qi), 140 kHz (Kfz),	Last-modulation	5 W (Qi), 3,3 kW (Kfz)	wenige Zentimeter	körpernah bis körperfern	bei Qi nicht erforderlich, bei Kfz noch zu klären	flächendeckend

4 Literatur

Armstrong 2012 — Armstrong CM. Feature-article "The Truth About Terahertz" IEEE Spectrum (Ausgabe September 2012). http://spectrum.ieee.org/aerospace/military/the-truth-about-terahertz, zuletzt aufgerufen am 08.11.2012

Bitkom 2012 — Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom). Die Zukunft der Consumer Electronics – 2012. http://www.bitkom.org/de/publikationen/38338_73252.aspx, zuletzt aufgerufen am 08.04.2013

Bornkessel et al. 2013 — Bornkessel C, Schubert M, Wuschek M. Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken. Forschungsvorhaben 3611S80002 im Auftrag des BfS, Abschlussbericht, Kamp-Lintfort, 2013, http://www.emf-forschungsprogramm.de/akt_emf_forschung.html/dosi_HF_004.html, zuletzt aufgerufen am 28.06.2013

Clemens et al. 2011 — Clemens M, Fiedler T, Hansen V, Pfeiffer U, Spathmann O, Statnikov K, Streckert J. Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Bestimmung der Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung mit Frequenzen im Terahertzbereich, Forschungsvorhaben 3610S80001 im Auftrag des BfS, Bergische Universität Wuppertal, Juli 2011

DIN EN 60601-1-2 — Deutsches Institut für Normung (DIN). DIN EN 60601-1-2 Medizinische elektrische Geräte – Teil 1-2: Allgemeine Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale - Ergänzungsnorm: Elektromagnetische Verträglichkeit - Anforderungen und Prüfungen (IEC 60601-1-2:2007, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60601-1-2:2007

EVPG 2008 — Gesetz über die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchs-relevanter Produkte (Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG), vom 27. Februar 2008, BGBl. I S. 258, geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 16. November 2011, BGBl. I S. 2224

EC 2008 — European Commission. Commission Decision of 7 April 2008 on harmonised conditions of spectrum use for the operation of mobile communication services on aircraft (MCA services) in the Community (notified under document number C(2008) 1256), Official Journal of the European Union, 2008

EU 1999 — Europäische Union. Empfehlung 1999/519/EG des Rates vom 12. Juni 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz) (ABL. Nr. L 199 vom 30.07.1999 S. 59

Heise 2012 — Heise mobil. Drahtloses Laden - Noch ein Standard, News-Meldung vom 30.10.2012, http://www.heise.de/newsticker/meldung/Drahtloses-Laden-Noch-ein-Standard-1739652.html, zuletzt aufgerufen am 08.11.2012

ICNIRP 1998	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys 74(4):494-522, 1998
ICNIRP 2010	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). ICNIRP Publication – 2010, ICNIRP Guidelines for limiting Exposure to time-varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz), Health Phys 99(6):818-836; 2010
Peyman et al. 2011	Peyman A, Khalid M, Calderon C, Addison D, Mee T, Maslanyj M, Mann S. Assessment of exposure to electromagnetic fields from wireless computer networks (WI-FI) in schools; results of laboratory measurements. Health Phys 2011 100(6):594-612
Schmid et al. 2008	Schmid G, Cecil S, Petric B, Neubauer G, Pérez LA. Bestimmung der Exposition durch Ultra-Wideband Technologien. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Seibersdorf, 2008
Schmid et al. 2009	Schmid G, Überbacher R, Cecil S, Petric B, Göth P. Bestimmung der Exposition durch Magnetfelder alternativer Antriebskonzepte. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Seibersdorf, 2009
SSK 2001	Strahlenschutzkommission (SSK). Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, veröffentlicht im BAnz Nr. 224 vom 30.10.2001
SSK 2003	Strahlenschutzkommission (SSK). Elektromagnetische Felder neuer Technologien, Empfehlung der Strahlenschutzkommission zum Schutz der Bevölkerung und Statusbericht der Strahlenschutzkommission, veröffentlicht in: Berichte der Strahlenschutzkommission Heft 41, 2004
SSK 2010	Strahlenschutzkommission (SSK). Moderne Lichtquellen, Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, veröffentlicht im BAnz Nr. 171 vom 15. November 2011
TNS Infratest 2009	TNS Infratest. Mobilfunknutzung und Nutzungsabsichten 2009. http://eplus-gruppe.de/presse/studien-publikationen, zuletzt aufgerufen am 08.04.2013
VDE 2011	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE). VDE-Anwendungsregel VDE-AR-E 2122-4-2, Elektrische Ausrüstungen von Elektro-Straßenfahrzeugen – Induktive Ladung von Elektrofahrzeugen – Teil 4-2: Niedriger Leistungsbereich, März 2011

Abkürzungsverzeichnis

Bluetooth	offener Standard für leistungsfähige Technologie zur drahtlosen Kommunikation bei 2,4 GHz
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
BPSK	Binary Phase Shift Keying
Car2Car	Kommunikation von Fahrzeugen untereinander
Car2I	Kommunikation von Fahrzeugen mit Infrastruktur
CDMA	Code Division Multiple Access
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
DAB	Digital Audio Broadcasting
DAB+	Weiterentwicklung von DAB
dBd	Antennengewinn bezogen auf λ/2 Dipol
DECT	Digital Cordless European Telephone
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DRM	Digital Radio Mondiale
DSL	Digital Subscriber Line
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-H	- Handhelds
DVB-T	- Terrestrial
DVB-T2	Nachfolgestandard von DVB-T
EEG	Elektroenzephalographie
EIB	European Installation Bus
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
ERP	Effective Radiated Power
FCC	Federal Communications Commission
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GSM	Global System for Mobile Communications
HDTV	High Definition Television
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstromübertragung
HSPA	High Speed Packet Access
HWÜ	Hochspannungs-Wechselstromübertragung
KNX	Konnex (Standard für Haus- und Gebäudesystemtechnik)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LED	Light-Emitting Diode
LTE	Long Term Evolution

MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMS	Multimedia Messaging Service
MRT	Magnetresonanztomographie
OEM	Original Equipment Manufacturer
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RFID	Radio Frequency Identification
SAR	Specific Absorption Rate
SMS	Short Message Service
StOB	Standortbescheinigung
TCP-IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Service
UWB	Ultra Wideband
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Networking

Anhang 1 Auszug aus dem Statusbericht der SSK 2003

Beispiele für neue und in Entwicklung befindliche Telekommunikationssysteme (Funkanwendungen)

Funkanwendung, Benutzer	**Frequenzbereich**	**Modulation / Codierung**	**Leistung**	**Sender Abdeckung bzw. Reichweite**	**Entfernung zu Personen**	**Sicherheits-abstand [1]**	**Stückzahl / Versorgungsgebiet**
Mobilfunk / UMTS Sender, Betreiber öffentlicher Netze	2110 - 2170 MHz, Downlink	W-CDMA	15 - 30 W	500 m-10 km, bundesweit	körperfern	< 5 m, entspr. Standort-bescheinigung	> 10.000 pro Netz/gesamtes Gebiet der Bundesrepublik
Mobilfunk / UMTS Mobilteil, „jedermann“	1920 - 1980 MHz, Uplink	W-CDMA	0,125 - 0,25 W	bis 10 km	Körperkontakt	nicht erforderlich	1 - 10 Mio. (5 Jahreszeitraum)
Satellitenfunk UMTS Mobiltelefone	28 GHz	BPSK / QPSK	2 W		Körperkontakt	nicht erforderlich	Insges. geringe Teilnehmerzahl wegen guten Ausbaus des terr. Mobilfunks
Satellitenfunk; Betreiber öffentlicher Netze/ Firmennetze, geschlossene Nutzergruppen	4/6 GHz bzw. 11/12-14 GHz bzw. 20/30 GHz	QPSK und 8-PSK bei großen Antennen auch QAM	Große Erdfunkstellen bis ca. 10 kW (EIRP) in Hauptstrahlrichtung	Europa	körperfern	< 3500 m entspr. Standort-bescheinigung	einige
			Rückkanäle über stationäre Anlagen bis 4W SSPAs	Kommunikation zu Satelliten	körperfern	nicht erforderlich	Ca. 100.000 VSAT in Europa

[1] Der Sicherheitsabstand bezieht sich auf typische Sendeleistungen und kann im Einzelfall davon abweichen.

Funkanwendung, Benutzer	Frequenzbereich	Modulation / Codierung	Leistung	Sender Abdeckung bzw. Reichweite	Entfernung zu Personen	Sicherheits-abstand	Stückzahl / Versorgungs-gebiet
Mobilfunk / professionelle TETRA Sender: Firmennetze / besondere Bedarfsträger (z. B. Polizei, Feuerwehren, Flughäfen, ÖPNV, öff. Bündelfunk)	390 - 400 MHz 420 - 430 (380 - 400) 440 - 450 460 - 470 870 - 876 915 - 921	DQPSK	bis 100 W ERP	Standortbezogen, ca. 10 km bei BOS bundesweit	körperfern	< 10 m; entspr. Standortbescheinigung	< 20.000 in Europa/ regionale bzw. bundesweite Netze
Mobilfunk / prof. TETRA Mobilteil Einzelpersonen beruflich; auch Kfz-Einbaugeräte	380 - 390 MHz 410 - 420 440 - 450 450 – 460 870 – 876 915 - 921	DQPSK bis 200 kbps	Fahrzeug bis 6 W ERP	zukünftig Reichweiten bis 120 - 200 km (Release 2)	körpernah	<1 m	> 10 000 in Deutschland
			Handheld bis 2,5 W ERP	> 10 km	Körperkontakt	nicht erforderlich	< 5 Mio. in Europa
Rundfunk digital DAB	Band III, L-Band 1 452 - 1 492 MHz	COFDM	bis 1 kW	> 60 km; bundesweit	körperfern	< 30 m entspr. Standort-bescheinigung	> 100
Rundfunk digital MW/KW/LW DRM	< 30 MHz	COFDM	50 kW/120 kW/ 200 kW	>100 km bundesweit	körperfern	< 300 m entspr. Standort-bescheinigung	wenige

Funkanwendung, Benutzer	Frequenzbereich	Modulation / Codierung	Leistung	Sender Abdeckung bzw. Reichweite	Entfernung zu Personen	Sicherheits-abstand	Stückzahl / Versorgungs-gebiet
Fernsehen digital DVB	Terr: VHF-/UHF-Rundfunkbereiche Sat: 10,7 - 12,75 GHz	Terr. COFDM Kabel: QAM Sat. QPSK	Terr. Sender bis 10 kW/ Bereich	Zellen mit bis zu 60 km Durchmesser mit max. 45 Kanälen a 15 Mbps	körperfern	< 100 m entspr. Standort-bescheinigung	wenige
			Rückkanäle bis 4 W SSPAs	Kommunikation zu Satelliten	körperfern	nicht erforderlich	> 1000
Lokale Mobilkommunikation (WLAN, Bluetooth)	5 GHz - 6 GHz 2,4 GHz – 2,5 GHz	OFDM Spread Spectrum, Hybrid Direkt-Sequenz und Frequenz-Hopping	1 mW - 1 W	bis 100 m	körpernah	nicht erforderlich	> 1 Million, kleinräumig, bundesweites Netz möglich
Richtfunk / WLL Nur stationäre Sender Betreiber öffentlicher Netze	Europa: 1,88 - 1,9 GHz DECT-WLL 2,5 - 2,67 PMP 3,41 - 3,6 PMP 24,549 - 26,061 PMP	TDMA, CDMA und nahezu alle gängigen Modulations-arten	2 - 8 W	Zellen mit 2 - 5 km Durchmesser	körperfern	< 10 m entspr. Standort-bescheinigung	zurzeit noch sehr gering/singuläre Anwendungen als Ersatz für Kabel
Short Range Devices	9 kHz – 25 MHz 25 MHz – 1 GHz 1 GHz – 40 GHz	Zunehmend frequenzvariable Sender aller Modulations-arten	Normalerweise bis 100 mW, in wenigen Fällen auch darüber bis zu 2 W	< 100 m	körpernah	< 10 cm	Starkes Marktwachstum, besonders bei RFID und Daten-/Telematik-anwendungen