

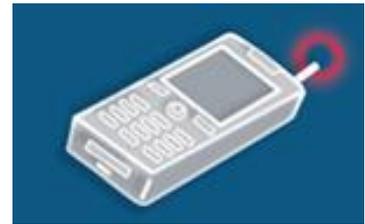


Mobiltelefon & Smartphone

Datum:

09. Juli 2019

In den letzten Jahren ist die Verwendung von Smartphones stark angewachsen, 97 Prozent [1] der Schweizer Bevölkerung ab 16 Jahren nutzen ein Handy oder Smartphone. Gleichzeitig hat sich auch das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer stark verändert: Sie nutzen das Mobiltelefon weniger für Telefongespräche, dafür deutlich mehr für mobile Internetanwendungen.



Sprache und Daten werden über hochfrequente elektromagnetische Strahlung zwischen einem Mobiltelefon und Basisstationen hin und her übertragen, wobei letztere den Anschluss an das nachgeschaltete Telekommunikationsnetz vermitteln. Dabei kommen verschiedene Technologien wie der klassische Mobilfunk, Bluetooth oder WLAN zum Einsatz. Die hochfrequente elektromagnetische Strahlung dieser Technologien führt zu einer Strahlenbelastung des Kopfes oder der Hand einer Person, wenn sie das Mobiltelefon zum Telefonieren direkt am Ohr oder für weitere Anwendungen wie beispielsweise mobiles Internet in der Hand hält [2]. Die elektrischen Ströme der Elektronik und der Batterie des Mobiltelefons führen zu niederfrequenten elektromagnetischen Feldern, die ebenfalls in den Kopf beziehungsweise die Hand eindringen.

Ein Mobiltelefon sendet nur während eines Gesprächs oder bei Datenverkehr. Wenn kein Gespräch oder keine Daten übermittelt werden, sendet ein eingeschaltetes Mobiltelefon nur alle paar Minuten ein Signal, um mitzuteilen, wo es sich gerade befindet. Im Ruhezustand ist die Strahlenbelastung daher vernachlässigbar. Die Strahlung nimmt mit der Distanz zum Gerät rasch ab.

Die Stärke der Exposition während dem Gebrauch des Mobiltelefons hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- Bei einer guten Verbindungsqualität strahlt das Mobiltelefon weniger als bei einer schlechten. Eine gute Verbindungsqualität zeichnet sich dadurch aus, dass so wenige dämpfende Hindernisse wie möglich sich zwischen Basisstation und Mobiltelefon befinden. Auf dem Display des Mobiltelefons wird die Verbindungsqualität mit Hilfe von Balken dargestellt.
- Mit zunehmender Distanz nimmt die Exposition rasch ab. Dies kann zum Beispiel durch den Einsatz von Freisprecheinrichtungen (Head-Sets) erreicht werden.

Der Anteil der Strahlung, die beim Telefonieren in den Kopf eindringt, ist je nach Mobiltelefon-Modell unterschiedlich gross. Er wird durch die spezifische Absorptionsrate SAR ausgedrückt. Je kleiner der angegebene SAR-Wert ist, desto geringer ist die Strahlung, die der Kopf aufnimmt. Die SAR-Wert-Angabe, die Sie in der Gebrauchsanweisung oder im Internet finden, stellt den Höchstwert des Gerätes dar, im Alltagsbetrieb kann der SAR Wert kleiner sein [3]. Eine Liste mit SAR-Werten von Mobiltelefonen publiziert das deutsche Bundesamt für Strahlenschutz.



Je nach Technologie entstehen unterschiedlich starke elektromagnetische Felder. Das Telefonieren mit UMTS (3G) und LTE (4G) anstelle von GSM (2G) führt zu deutlich tieferen Strahlungsbelastungen im Kopfbereich [2]. UMTS- und LTE-Mobiltelefone regeln ihre Leistung sehr viel effizienter als GSM-Geräte. LTE (4G) Mobiltelefon senden im Durchschnitt nur mit 1% der maximal möglichen Sendeleistung («Output Power Levels of 4G User Equipment and implications on realistic RF EMF exposure assessments, 2018) und dies obwohl viel mehr Daten übermittelt werden können wie mit UMTS.

Die zurzeit laufende Einführung von 5G erfolgt in Frequenzbereichen, wie sie bereits jetzt für den Mobilfunk und für WLAN verwendet werden.

Bezüglich gesundheitlicher Auswirkungen bei langfristiger Belastung durch hochfrequente Strahlung von Mobiltelefonen bestehen noch Unsicherheiten, kurzfristige negative gesundheitliche Auswirkungen sind keine zu erwarten.

Bezüglich gesundheitlicher Auswirkungen bei langfristiger Belastung durch niederfrequente Magnetfelder, die von Elektronik und Batterie stammen, bestehen ebenfalls noch Unsicherheiten, kurzfristige negative Auswirkungen sind keine zu erwarten.

Folgende Tipps helfen Ihnen, wenn Sie die persönliche Strahlenbelastung von Mobiltelefonen bzw. Smartphones verkleinern möchten:

- Verwenden Sie Kopfhörer oder eine drahtlose **Freisprecheinrichtung** (Head-Set) mit einem schwachen Bluetoothsender (Leistungsklasse 2 oder 3), um die Strahlung am Kopf zu reduzieren.
- Nutzen Sie bevorzugt moderne Mobilfunknetze wie LTE (4G) oder UMTS (3G), die strahlungsärmer als die ältere Technologie GSM arbeiten. Überprüfen Sie diesbezüglich die Einstellungen Ihres Mobiltelefons oder wenden Sie sich an Ihre Verkaufsstelle.
- Verwenden Sie im Innern von Gebäuden oder im Zug wenn möglich WLAN zum Telefonieren und zur Datenübertragung. Überprüfen Sie die Einstellungen ihres Mobiltelefons.
- Vorsicht bei Schutz- und Abschirmprodukten, welche die Strahlenbelastung reduzieren sollen. Wenn die Verbindungsqualität verschlechtert wird, ist das Mobiltelefon gezwungen, stärker zu strahlen.
- Personen, die ein elektronisches medizinisches **Implantat** tragen, sollten einen Abstand von 30 cm zwischen dem Mobiltelefon und dem Implantat einhalten.

Weitere Tipps:

- **Verwenden Sie NIE ein Mobiltelefon, während Sie ein Fahrzeug lenken.** Dies gilt auch für Gespräche über eine Freisprecheinrichtung, die ebenfalls ablenken können!
- **Verwenden Sie NIE ein Mobiltelefon** zu Fuss oder auf dem Fahrrad, wenn Sie Verkehrswege überqueren oder benutzen.



1 Basisstationen

Ausführliche Informationen zur Strahlung von Basisstationen erhalten Sie beim Bundesamt für Umwelt BAFU [4] oder bei einer kantonalen NIS-Fachstelle.

Weiterführende Informationen zu 5G sind auf der Webseite des BAFU und des BAKOMs verfügbar.

2 Übersicht Mobilfunktechnologien

GSM (Global System for Mobile Communication) [5] ist ein digitaler Mobilfunkstandard, der vor allem für Telefonie und das Übermitteln von SMS-Kurznachrichten (Short Messages) verwendet wird. GSM wird auch als zweite Generation der Mobiltelekommunikation (2G) bezeichnet. GPRS (General Packet Radio System) und Edge (Enhanced data rate for global evolution) sind Weiterentwicklungen von GSM, die den Datenverkehr oder den Zugang zum Internet ermöglichen.

Der UMTS-Standard (Universal Mobile Telecommunication System) [6] hat im Vergleich zu GSM eine erhöhte Datenübertragungsrate und ist besser für Daten- und Multimediadienste geeignet, wird aber auch für Telefonie und SMS genutzt. Er wird als dritte Generation der Mobiltelekommunikation (3G) bezeichnet. Mit LTE (Long Term Evolution) [7], welche die vierte Generation der Mobilfunknetze darstellt (4G), wurde die Datenübermittlungsrate nochmals signifikant erhöht. Im Moment ist die Einführung von 5G im Aufbau.

2012 war der Höhepunkt der weltweiten Verbreitung von GSM-Mobiltelefonen. Wie in Abbildung 1 ersichtlich ist, hat der Marktanteil von UMTS- und später LTE-Smartphones in den letzten Jahren deutlich zugenommen.

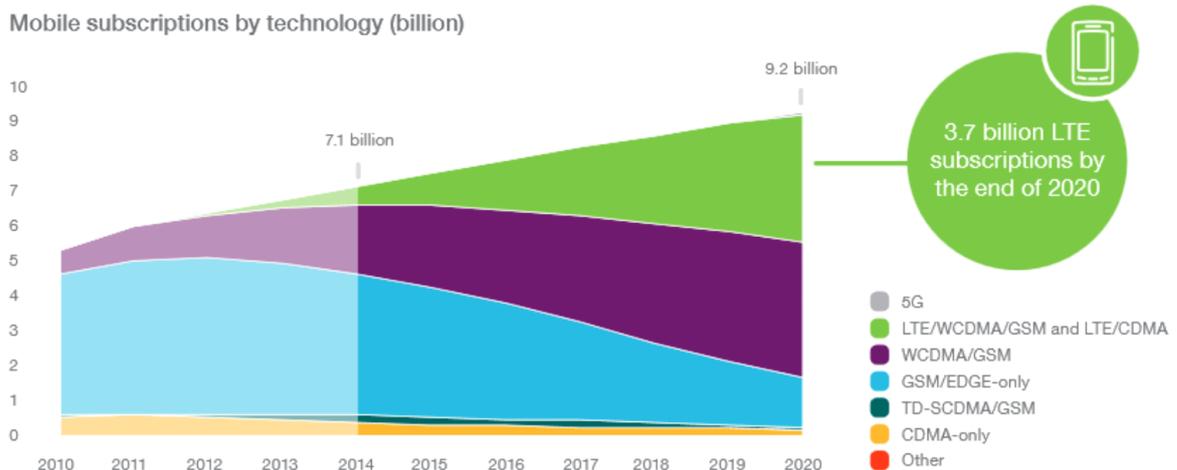


Abbildung 1: Entwicklung der verschiedenen Netztechnologien weltweit.

Grundsätzlich unterstützt der LTE-Standard alle Frequenzbänder der bestehenden Netze der 2. und 3. Generation, arbeitet aber vorwiegend in den Frequenzbereichen um 2.6 GHz und 800 MHz (Tabelle



1).

Tabelle 1 stellt die zurzeit verfügbaren Frequenzbereiche und deren Bandbreite in der Schweiz dar [5, 6, 7]

Frequenzband	Bandbreite	Verwendung	Spitzenleistung	Mittlerer Sendeleistung (typisches Telefongespräch)
800 MHz	2x30 MHz		250 mW	ländliches Gebiet: 1.5 mW. In der Stadt weniger
900 MHz	2x35 MHz	2G	2 W	250 mW
1800 MHz	2x75 MHz	bisher 2G und 3G	1 W	125 mW
2100 MHz	1x20 MHz 2x60 MHz 1x15 MHz	bisher 2G und 3G	250 mW	ländliches Gebiet: 1.5 mW. In der Stadt weniger
2600 MHz	2x70 MHz 1x50 MHz	bisher 3G	250 mW	ländliches Gebiet: 1.5 mW. In der Stadt weniger
3400-3800 MHz	400 MHz		250 mW	ländliches Gebiet: 1.5 mW. In der Stadt weniger

3 Kurzbeschreibung der Funktionsweise der verschiedenen Mobilfunktechnologien

Ausführliche und weitergehende Dokumentationen finden Sie unter www.bakom.admin.ch

3.1 Sendeleistung

GSM

In GSM-Funkzellen [5] werden die Signale zwischen dem Mobiltelefon und der Basisstation auf einer bestimmten Trägerfrequenz als kurze Pakete gesendet, die in acht Zeitschlitze unterteilt sind. Der erste Zeitschlitz oder Kontrollkanal vermittelt den Mobiltelefonen die Systemdaten des Netzes und synchronisiert das Mobiltelefon mit der Basisstation. Der Kontrollkanal wird von den Basisstationen die



ganze Zeit mit voller Leistung ausgesendet, damit die Mobiltelefone beim Einschalten, beim Roaming oder beim Handover die Zelle finden können. Auch wenn in der Zelle keine Gespräche geführt werden, wird dieser Träger mit voller Leistung auf allen acht Zeitschlitten ausgesendet. Die anderen 7 Zeitschlitze können für Gespräche verwendet werden.

Die durch ein Mobiltelefon verursachte Strahlenbelastung hängt stark von seiner Sendeleistung ab, die ihrerseits von der Qualität der Funkverbindung zwischen Mobiltelefon und Basisstation abhängt. Bei einer guten Verbindung muss das Mobiltelefon weniger stark strahlen als bei einer schlechten Verbindung. Schlechte Verbindungen treten meist in Gebäuden auf, da Wände und moderne energiesparende Fenster ein Hindernis für die Strahlung darstellen. Zudem nimmt die Qualität einer Funkverbindung mit zunehmender Distanz zwischen Mobiltelefon und Basisstation ab. Deshalb ist die Verbindungsqualität in Städten, wo es viele Basisstationen auf engem Raum gibt, meist besser als auf dem Land (Tabelle 2).

Bei GSM spielt nicht nur die Verbindungsqualität eine wichtige Rolle, sondern auch die Häufigkeit der Wechsel zwischen einzelnen Funkzellen oder gruppierten Funkzellen (sog. Cluster). Beim Verbindungsaufbau und bei jedem Funkzellen- oder Clusterwechsel sendet ein Mobiltelefon kurzzeitig mit der maximalen Sendeleistung bei GSM. Nach dem Verbindungsaufbau regelt es die Sendeleistung herunter, so dass auch die Strahlenbelastung der telefonierenden Person sinkt.

Tabelle 2: GSM: Reduktion der Strahlungsleistung bei guter Verbindungsqualität und wenigen Zellenwechsel [9].

Vergleich	Reduktion der Sendeleistung
draussen vs. drinnen	68%
Stadt vs. Land	10%
stationär vs. bewegt	45%

Obwohl als Folge der Leistungsregelung die tatsächliche Sendeleistung eines Mobiltelefons weit unter seiner maximalen Sendeleistung liegen könnte, zeigen verschiedene Studien, dass dies nicht der Fall ist. In einer italienischen Studie [9] wurden bei sechs Personen während 2-6 Monaten die im täglichen Gebrauch verwendete Sendeleistung des GSM-Mobiltelefons gemessen. Die tatsächlichen Sendeleistungen der Mobiltelefone betragen trotz möglicher Leistungsreduktion je nach Frequenzband immer noch 67 % bzw. 50% der maximalen Sendeleistung. Ähnliche Resultate liefert eine schwedische Studie [10]. Es wird vermutet, dass diese nicht optimale Leistungsregulation von häufigen Zellwechseln herrührt, welche die Basisstationen auch bei einem stationären Telefonat zur Optimierung der Netzauslastung veranlassen können [9] (Tabelle 3).



Tabelle 3: GSM 900/1800 MHz: Anteil der Zeit, während der mit der maximalen Sendeleistung gesendet wird.

		Anteil bei max. Sendeleistung (%), 900/1800 MHz
Studie [10]	Stadt	25
	Land	50
Studie [9]	Stadt	48 / 39
	Land	60 / 49

UMTS

UMTS-Mobiltelefone regeln ihre Leistung sehr viel effizienter als GSM-Geräte. Beim Verbindungsaufbau senden sie mit kleinster möglicher Leistung und erhöhen anschliessend ihre Leistung, wie sie für eine ausreichende Verbindungsqualität notwendig ist. Bei der Sprach- und Datenübertragung mit **UMTS** wird eine Übertragungsmethode eingesetzt, die sich von GSM komplett unterscheidet: WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) ist ein Verfahren, bei dem alle Teilnehmer eines Netzes auf der gleichen Frequenz kommunizieren. Die einzelnen Kanäle werden mittels eines Kanalcodes voneinander abgetrennt, der jedem Teilnehmer beim Verbindungsaufbau zugeteilt wird. Dieses Verfahren unterscheidet UMTS grundlegend von anderen Funksystemen (GSM, LTE, DECT, TETRA usw.), bei welchen die einzelnen aktiven Teilnehmer in einer Zelle durch verschiedene Frequenzen bzw. Zeitschlitze voneinander getrennt werden.

UMTS-Basisstationen sind clusterartig zusammengeschaltet. Innerhalb eines Clusters muss ein Mobiltelefon keine Zellwechsel vornehmen. Bei notwendigen Zellwechseln zwischen verschiedenen Clustern regelt das Gerät nie auf die Maximalleistung hoch. Allerdings können in lückenhaften UMTS-Netzen Zellwechsel auf GSM erfolgen, so dass höhere Sendeleistungen resultieren. Messungen von Mobiltelefonen [11] zeigen bei Telefonaten mit UMTS eine deutlich tiefere Sendeleistung im Vergleich zur maximalen möglichen Sendeleistung.

Da die Sendeleistung mit der Datenmenge zusammenhängt, die das Mobiltelefon sendet, resultiert beim Senden von Dateien eine deutlich höhere Sendeleistung als beim Telefonieren, wo die Datenmenge gering ist (Tabelle 4).



Tabelle 4: UMTS-Sendeleistung in einzelnen Messsituationen [11].

	mittl. Sendeleistung (μW)	mittl. Sendeleistung (% der max. Sendeleistung)
stationäres Telefonat	4.6	0.004
Telefonat im Gehen	9.5	0.008
Daten Upload	135.9	0.11
Daten Download + Telefonat	61.5	0.05

Die maximale Sendeleistung von UMTS-Teilnehmergeräten beträgt 250 mW, in der Praxis liegen die tatsächlichen Sendeleistungen allerdings weit unter diesem Maximalwert. So beträgt die mittlere Sendeleistung von UMTS-Mobiltelefonen laut Simulationen von Herstellern und Netzbetreibern in ländlicher Umgebung etwa 1,5 mW und in städtischer Umgebung sogar noch weniger [12]. UMTS-Mobiltelefone senden dadurch mit viel kleineren Leistungen als GSM-Mobiltelefone.

LTE

Der LTE-Standard [8] unterstützt alle Mobilfunkfrequenzen. Die wichtigste Neuerung gegenüber dem UMTS-Standard ist die Einführung von neuen Kanalzugriffverfahren im Downlink und Uplink. Diese komplexen Verfahren ermöglichen den Betrieb des Systems mit skalierbaren Kanalbandbreiten von 1,4 MHz bis 20 MHz. Damit kann LTE flexibel in den jeweils zugeteilten Bandbreiten eingesetzt werden und setzt nicht wie UMTS einen zusammenhängenden Block von mindestens 5 MHz oder dem Mehrfachen davon voraus. Die Technik ist sehr komplex, eine optimierte und agile Aufteilung der Trägersignale im Zeit- und Frequenzbereich verschafft LTE einen Effizienz- und klaren Geschwindigkeitsvorteil gegenüber den bisherigen Technologien.

LTE hat nicht nur deutlich höhere Datenraten und eine bessere Spektrumseffizienz als seine Vorgänger, sondern auch eine kürzere Latenzzeit (Laufzeit eines Datenpaketes vom Sender zum Empfänger). Die Latenzzeit beträgt bei LTE maximal 5 Millisekunden, bei UMTS liegt die mittlere Latenzzeit bei 70 bis 140 Millisekunden. Dies wirkt sich positiv auf die Reaktionsfreudigkeit des Netzes und auf Echtzeit-Dienste wie beispielsweise VoIP (Voice over IP, Videoanwendungen) aus.

5G

5G ist der neue internationale Mobilfunkstandard. Mit 5G werden maximale Datenraten von 10 GBits/s und tiefere Reaktionszeiten möglich. Die Funktechnik von 5G ist im Bereich der heute verfügbaren Frequenzen mit derjenigen von 4G vergleichbar. Es kommt dabei dieselbe Modulationstechnik zum Einsatz. Allerdings ist die verfügbare Bandbreite bei 5G viel grösser. Die kürzlich versteigerten Frequenzbänder für 5G befinden sich in einem Frequenzbereich, in dem bereits die heutigen hochfrequenten Telekommunikationsanwendungen arbeiten.

4 Expositionsmessungen

4.1 SAR-Wert durch hochfrequente Strahlung



Abbildung 2: Kopfphantom für die Bestimmung des SAR-Wertes. Bildquelle [13]

Am besten wird eine Strahlenbelastung des Körpers durch den so genannten SAR-Wert (SAR: Specific Absorption Rate) beschrieben. Der SAR-Wert (in W/kg) gibt an, wieviel Strahlungsleistung (W) vom menschlichen Körper (kg) aufgenommen wird. Der SAR-Wert wird für jedes einzelne Telefonmodell mit Hilfe eines Kopfmodells (Abbildung 2) in einem „worst-case“ Szenario bestimmt und mit dem Grenzwert der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) verglichen, der bei 2 W/kg liegt [14]. Informationen zu den SAR-werten einzelner Mobiltelefone sind auf verschiedenen Portalen im Internet publiziert, so zum Beispiel: BfS-Link. Der Grenzwert von 2 W/kg muss von allen Geräten, die in der Schweiz verkauft werden, eingehalten werden.

Im Rahmen des FP7 Projekt der EU [2] wurde die Strahlenbelastung von verschiedenen mobilen Übertragungstechnologien in verschiedenen Abständen zum Mensch verglichen. Klar ersichtlich ist, dass die Strahlenbelastung verringert werden kann, wenn das Mobiltelefon nicht am Ohr liegt

und in Distanzen von mehr als 20 cm verwendet wird. Dies kann z.B. durch eine Freisprecheinrichtung erreicht werden. Auch die neuen Übertragungstechnologien führen zu einer kleineren Strahlenbelastung, so reduziert der Wechsel von GSM (2G) hin zu UMTS (3G) resp. zu WLAN-Telefonie den SAR-Wert.

Die höchsten Strahlenbelastungen treten gemäss SEAWIND-Studie (2) dann auf, wenn das Mobiltelefon als mobiler WLAN-Accesspoint (sog. Tethering) am Körper getragen wird. Auch Datenanwendungen mit maximalem Datentransfer führen in der Regel zu höheren Strahlenbelastungen im Vergleich zu Telefongesprächen (Abbildung 3).

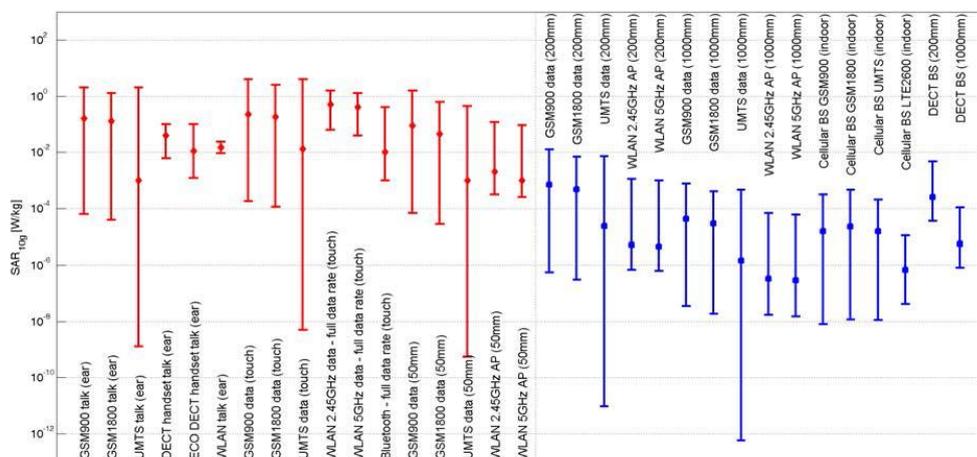


Abbildung 3: Abschätzung der Strahlenbelastung durch verschiedene mobile Übertragungstechnologien und in verschiedenen Abständen (rot: nahe am Körper/ blau: Abstand 20 cm bis 1 m).



4.2 Freisprecheinrichtungen, Head-Sets

Head-Set mit Kabel: Verschiedene Studien haben die Strahlenbelastung des Kopfes mit und ohne Head-Set verglichen. Bit-Babik et al. [15] zeigten an Hand von Modellrechnungen und Messungen an Modellköpfen mit GSM 900 MHz, dass die Strahlung durch Head-Sets im Kopf immer reduziert wird. Die Messungen ergaben, dass der SAR-Wert im Kopf beim Verwenden eines Head-Sets 8-20 mal kleiner ist als beim Telefonieren mit dem Handy am Ohr. Die Strahlung im Kopf wird mehr reduziert, wenn das Telefon und das Kabel in der Nähe des Körpers sind, da der Körper so auch Strahlung absorbieren kann. Troulis et al. [16] haben in ihren Untersuchungen mit GSM 1800 MHz gezeigt, dass wegen dieser Strahlungsabsorption im Körper die Effizienz des Mobiltelefons reduziert wird und es deshalb stärker strahlt. Wichtig ist insbesondere, dass die Antenne des Mobiltelefons (üblicherweise auf der Rückseite des Gerätes) vom Körper weg getragen wird, um die Verbindungsqualität nicht zu verschlechtern. Insgesamt kann aber gesagt werden, dass der Kopf und so das empfindliche Gehirn weniger exponiert sind, wenn ein Head-Set verwendet wird. Eine Studie im Rahmen des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms [17] fand zwar bei worst-case-Bedingungen mit GSM 1800 einen erhöhten SAR-Wert in einem kleinen Bereich im Innenohr, kommt aber auch zum Schluss, dass beim Verwenden eines Head-Sets insgesamt die Exposition des Kopfbereichs reduziert wird.

4.3 Bluetooth-Head-Set

Im Auftrag des BAG wurden zwei Bluetooth Head-Sets untersucht [18]. Solche Freisprecheinrichtungen arbeiten nicht mit einem Kabel sondern mit Funk zwischen dem Kopfhörer und dem Mobiltelefon (mehr Informationen dazu auf unserer Seite über Bluetooth). Die beiden untersuchten Head-Sets haben SAR-Werte von 0,001 resp. 0,003 W/kg, das ist 30 resp. 10 mal kleiner als der SAR-Wert des zur Zeit strahlungsärmsten Mobiltelefons (SAR 0.03).

4.4 Abschirmprodukte

Manning et al. [19] haben in einer Studie verschiedene Abschirmprodukte getestet. Aufkleber und Kissens auf dem Hörer hatten einen sehr kleinen Effekt. Die SAR wurde zum Teil leicht reduziert, zum Teil leicht erhöht. Die Verbindungsqualität wurde auch nur leicht beeinträchtigt. Abdeckkappen auf der Antenne reduzierten zwar die SAR bis zu 99%, jedoch im gleichen Masse auch die Verbindungsqualität. Einige Schutzhüllen reduzierten die SAR ohne die Verbindungsqualität zu beeinträchtigen, andere wiederum reduzierten die Verbindungsqualität in gleichem Masse wie die SAR. Dabei spielt die Form der Hülle eine entscheidende Rolle, also zum Beispiel, ob die Tastatur auch abgedeckt ist oder nicht.

Oliver et al. [20] testeten 9 verschiedene kleine Aufkleber, welche die SAR reduzieren sollen. Bei keinem der getesteten Aufkleber konnte eine Reduktion der SAR gemessen werden. Auch der Ort der höchsten SAR im Messphantom wurde durch die Aufkleber nicht verändert.

4.5 Niederfrequente Magnetfelder bei GSM und UMTS

Bei GSM sendet und empfängt das Mobiltelefon nur alle 4,6 ms während 577 μ s. In diesem Rhythmus fliesst in der Batterie der Strom, was zu einer niederfrequenten Strahlungskomponente von 217 Hz führt. Im Auftrag des BAG wurden die niederfrequenten Strahlungskomponenten von fünf verschiedenen Mobiltelefonmodellen untersucht [21]. Dabei wurden vor allem bei den Vielfachen von 217 Hz grosse Magnetfeldwerte gemessen (Tabelle 5, Figur 3).

Tabelle 5: Niederfrequente Magnetfelder und SAR-Werte bei GSM-Mobiltelefonen [21]

		Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4	Modell 5
Magnetfeld 5mm Abstand (μ T)	Vorne	4.7	7.25	14.63	6.09	4.94
	Hinten	29.46	31.89	33.68	29.5	28.07
Magnetfeld Oberfläche (μ T)	Vorne	8.3	12.4	19.3	8.3	11.4
	Hinten	52.8	35.1	66.1	74.8	56.3
SAR-Wert (W/kg)		0.826	1.01	1.02	0.438	0.707

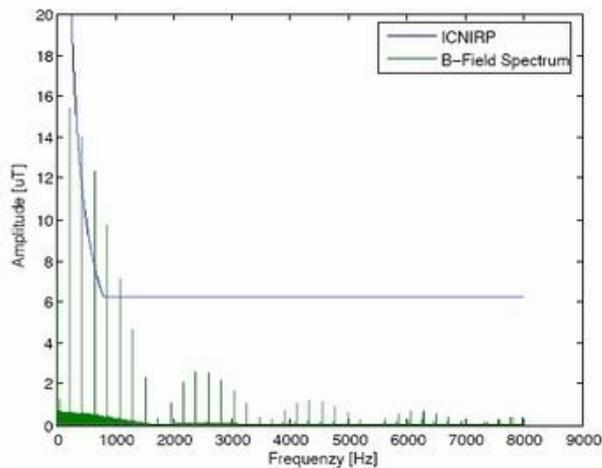


Abbildung 4 zeigt das Magnetfeld eines GSM-Mobiltelefons in Abhängigkeit der Frequenz. Der von der EU empfohlene Grenzwert [14] hängt von der Frequenz des Magnetfeldes ab. Magnetfelder mit Frequenzen, die dem 3- bis 5-fachen der Grundfrequenz von 217 Hz entsprechen, überschreiten den Grenzwert.

Gemäss einer Studie von Gosselin et al. 2013 [48] sind die niederfrequenten Felder bei UMTS um das Zweifache reduziert.



5 Gesundheitliche Auswirkungen

5.1 Krebs

Niederfrequente Magnetfelder

Niederfrequente Felder entstehen bei Mobiltelefonen durch Batterieströme und die Elektronik. Studien zu gesundheitlichen Auswirkungen solcher Magnetfelder sind keine vorhanden. Generell hat die internationale Krebsagentur (IARC) im Jahre 2002 allerdings statische und niederfrequente Magnetfelder als möglicherweise krebserregend (Gruppe 2B) eingestuft [22]. Dies aufgrund von epidemiologischen Studien, die darauf hindeuten, dass langfristige und dauerhafte Magnetfeldbelastungen im Niedrigdosisbereich von $1 < 0,4 \mu\text{T}$ das Risiko erhöhen könnten an Kinderleukämie oder an Alzheimer-Demenz [6] zu erkranken. Inwieweit ein solches Risiko auch bei Mobiltelefonen besteht, ist unklar.

Hochfrequente elektromagnetische Felder

Die internationale Krebsagentur (IARC) hat im Jahr 2011 hochfrequente elektromagnetische Felder aufgrund von Studien, die einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Telefonieren mit Mobil- oder Schnurlostelefonen und Hirntumoren zeigen, als möglicherweise krebserregend (Gruppe 2B) eingestuft [23]. Die Datenlage und Evidenz wird von der IARC allerdings als begrenzt eingestuft, da diese Studien Mängel hinsichtlich Studiendesign und der Abschätzung der Belastungsdauer aufweisen.

5.2 Weitere im Zusammenhang mit Mobiltelefonen untersuchte gesundheitliche Auswirkungen

Auswirkungen auf die Aktivität des Gehirns

Elektroenzephalogramme dienen dazu (EEG) die elektrische Aktivität des Gehirns darzustellen. Die Strahlung von Mobiltelefonen kann die Gehirnaktivität sowohl im Wach- als auch im Schlafzustand beeinflussen. Die gesundheitlichen Auswirkungen dieser veränderten Gehirnaktivität sind aber unklar.

Reizwahrnehmung und Reizverarbeitung

Ältere Studien zeigten Hinweise auf verkürzte Reaktionszeiten infolge Mobilfunkstrahlung, in neueren Studien tritt dieser Effekt nur noch teilweise auf.

Mikrowellenhören

Es bestehen keine Hinweise, dass Mobilfunkstrahlung zum Hören von Geräuschphänomenen führt.

Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System

Der Einfluss von Mobiltelefonstrahlung auf Blutdruck, Puls, Herzfrequenzvariabilität sowie Hautdurchblutung wurde nur in sehr wenigen Studien untersucht, die keine konsistenten Resultate ergaben.



Auswirkungen auf das Wohlbefinden

Aus Befragungen ist bekannt, dass Personen teilweise unspezifische Symptome (Symptome, die nicht auf eine Krankheit zurückzuführen sind) wie Müdigkeit, Schwindel, Kopfschmerzen der Mobiltelefonstrahlung zuschreiben. Dieser Zusammenhang liess sich aber in epidemiologischen Studien nicht konsistent bestätigen [25-28]. Solche eventuellen Langzeitwirkungen sind aber bis jetzt mangelhaft untersucht, so dass Auswirkungen von Mobilfunkstrahlung auf das allgemeine Wohlbefinden nicht beurteilt werden können [29].

Auswirkungen auf den Schlaf

Mehrere Laborstudien haben den Einfluss der Mobiltelefonstrahlung auf das Schlafverhalten untersucht. Bei einigen dieser Studien wiesen Personen, die vor dem Einschlafen mit Strahlung von Mobiltelefonen exponiert wurden, eine kürzere Einschlafzeit [30] sowie eine veränderte elektrische Aktivität des Gehirns während des Schlafs auf [31]. Die meisten dieser Studien konnten aber keinen Zusammenhang zwischen der Mobilfunkstrahlung und dem Schlaf feststellen. In epidemiologischen Studien wurde kein konsistenter Zusammenhang zwischen der selbstberichteten Schlafqualität und der Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung gefunden [25, 27]. Oftmals werden Mobiltelefone in der Nacht nicht mehr ausgeschaltet und können die Schlafqualität beeinflussen. Eine Studie mit 439 Personen zeigte, dass das Aufwecken während der Nacht durch Mobiltelefon mit erhöhter Müdigkeit, Kopfschmerzen und rascher Ermüdung assoziiert wird und keine Einfluss auf kognitive Fähigkeiten (z.B. Konzentrationsfähigkeit) hat [32].

Kinder und Aufmerksamkeitsstörungen

Der Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeitsstörungen bei Kindern und Mobilfunk wurde in wenigen Studien untersucht [33]. Zwar wurden Anzeichen für einen Einfluss zwischen hochfrequenter Strahlung und Verhaltensauffälligkeiten bei Kindern und Jugendlichen gefunden [33], allerdings sind diese Ergebnisse weder genügend bestätigt noch kann nicht ausgeschlossen werden, dass andere Faktoren für diese Verhaltensauffälligkeiten verantwortlich sind.

Spermien

Inwieweit Mobiltelefonstrahlung die Fertilität beeinflusst, kann auf Grund der wenigen Studien nicht abschliessend beurteilt werden. Die meisten Studien haben die Auswirkungen von Handystrahlung auf die Beweglichkeit, respektive Konzentration [34] der Spermien untersucht. Die Abschätzung der Exposition der Handystrahlung ist in diesen Studien aber meist ungenügend, so dass keine Schlüsse gezogen werden können.

Störung von Implantaten

Mobiltelefone können bei Herzschrittmachern Funktionsstörungen verursachen (Inhibition, falsche Stimulation, asynchroner Modus) [35-37]. Neuere Herzschrittmacher [38, 39], implantierte Defibrillatoren [35] und Hirnstimulatoren [40] sind weniger anfällig auf Störungen. Trotzdem wird ein Sicherheitsabstand von 30 cm zwischen dem Implantat und dem Mobiltelefon empfohlen. Personen mit Implantaten sollten deshalb das Mobiltelefon nicht in der Brusttasche tragen und auf der dem Implantat gegenüberliegenden Kopfseite telefonieren [35].



Autounfälle

Erwiesenermassen gefährlich sind Mobiltelefone, die Fahrzeuglenkerinnen und -lenker während des Autofahrens benutzen. Telefonieren beim Autolenken erhöht das Unfallrisiko mit oder ohne Todesfolge signifikant [40-42]. Die Verschlechterung des Fahrverhaltens durch die Mobiltelefonbenutzung kann mit dem Fahren mit zu viel Blutalkohol (0,8‰) verglichen werden [43]. Das Risiko ist nicht nur während des Gesprächs erhöht, sondern auch noch während einiger Zeit danach. Das Benutzen einer Freisprecheinrichtung verringert das Risiko nicht.

6 Rechtliche Regelungen

Mobiltelefone müssen dem europäischen Produktstandard EN SN 50360 [44] genügen. Der gemäss EN 50361 [45] gemessene SAR-Wert darf den ICNIRP-Grenzwert [14] von 2 W/kg nicht überschreiten. Bei Geräten mit mehreren Diensten (also z.B. UMTS und WLAN) muss der SAR-Wert für jede Frequenz einzeln bestimmt werden. Wenn die verschiedenen Dienste die SAR-Wert Maxima an verschiedenen Orten haben und der Anteil des SAR-Wertes durch die anderen Dienste weniger als 5% beträgt, so zählt nur der SAR-Wert des Dienstes mit dem höchsten Wert [46].

Die Strahlung der Mobilfunkbasisstationen wird in der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) [47] geregelt.



7 Literatur

1. gfs.Bern. Neues Nutzungsverhalten, deutliche Nutzensicht, verstärkte Sensibilität gegenüber gesundheitlichen Risiken – Schlussbericht. Studie im Auftrag von Forum Mobil, Januar 2015.
2. SEAWIND - Sound Exposure & Risk Assessment of Wireless Network Devices, FP7-Final Summary Report 2012.
3. Roser et al., Development of an RF-EMF Exposure Surrogate for Epidemiologic Research, Int J Environ. Res. Public Health 2015.
4. <http://www.handystrahlung.ch/sar.php>
5. <http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/01079/01086/index.html?lang=de>
6. BAKOM, Faktenblatt GSM, Juni 2015 <http://www.bakom.admin.ch/themen/technologie/01182/index.html?lang=de>
7. BAKOM, Faktenblatt UMTS, 12. Juni 2015 <http://www.bakom.admin.ch/themen/technologie/01178/index.html?lang=de>
8. BAKOM, Faktenblatt LTE und LTE+, Juni 2015 <http://www.bakom.admin.ch/themen/technologie/01397/03794/index.html?lang=de>
9. Medienmitteilung Swisscom: <https://www.swisscom.ch/de/about/medien/press-releases/2015/10/20151008-MM-Swisscom-ruestet-ihr-Mobilfunknetz-fuer-die-Zukunft.html>
10. Ardoino L, Barbieri E, Vecchia P. Determinants of exposure to electromagnetic fields from mobile phones. Radiat Prot.Dosimetry 2004;111:403-6.
11. Lönn S et al. Output power levels from mobile phones in different geographical areas; implications for exposure assessment. Occupational and Environmental Medicine 2004;61:769-72.
12. Georg R. Bestimmung der spezifischen Absorptionsrate (SAR-Werte), die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftritt. 2006
13. Report ITU-R M.2039-2: Characteristics of terrestrial IMT-2000 systems for frequency sharing/interference analyses (11/2010).
14. European commission. Health and electromagnetic fields EU-funded research into the impact of electromagnetic fields and mobile telephones on health. 2006.
15. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 1998;494-521.
16. Bit-Babik G et al. Estimation of the SAR in the human head and body due to radiofrequency radiation exposure from handheld mobile phones with hands-free accessories. Radiat.Res. 2003;159:550-7.
17. Troulis SE, Scanlon WG, Evans NE. Effect of a hands-free wire on specific absorption rate for a waist-mounted 1.8 GHz cellular telephone handset. Phys Med Biol 2003;48:1675-84.
18. Kühn S et al. Bestimmung von SAR-Werten bei der Verwendung von Headsets für Mobilfunktelefone. 2008
19. Kramer A et al. Development of Procedures for the Assessment of Human Exposure to EMF from Wireless Devices in Home and Office Environments. 2005.
20. Manning MI, Densley M. On the effectiveness of various types of mobile phone radiations shields. SAR Test Report 0113. 2001
21. Oliver JP, Chou CK, Balzano Q. Testing the effectiveness of small radiation shields for mobile phones. Bioelectromagnetics 2003;24:66-9.
22. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 80, 2002, Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-frequency Electric and Magnetic Fields.



23. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 102, 2012, Non-ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields.
24. Sage C, Johansson O, Sage SA. Personal digital assistant (PDA) cell phone units produce elevated extremely-low frequency electromagnetic field emissions. *Bioelectromagnetics*. 2007; 28:386-92.
25. Berg-Beckhoff G, Blettner M, Kowall B, Breckenkamp J, Schlehofer B, Schmiedel S, Bornkessel C, Reis U, Potthoff P, Schüz J. Mobile phone base stations and adverse health effects: phase 2 of a cross-sectional study with measured radio frequency electromagnetic fields. *Occup Environ Med*. 2009;66(2):124-30.
26. Blettner M, Schlehofer B, Breckenkamp J, Kowall B, Schmiedel S, Reis U, Potthoff P, Schüz J, Berg-Beckhoff G. Mobile phone base stations and adverse health effects: phase 1 of a population-based, cross-sectional study in Germany. *Occup Environ Med*. 2009;66(2):118-23.
27. Hutter HP, Moshhammer H, Wallner P, Kundi M. Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. *Occup Environ Med*. 2006;63(5):307-13
28. Thomas S, Kühnlein A, Heinrich S, Praml G, Nowak D, von Kries R, Radon K. Personal exposure to mobile phone frequencies and well-being in adults: a cross-sectional study based on dosimetry. *Bioelectromagnetics*. 2008;29(6):463-70.
29. Kundi M, Hutter HP. Mobile phone base stations-Effects on wellbeing and health. *Pathophysiology*. 2009 Aug;16(2-3):123-35.
30. Mann K, Röschke J. Sleep under exposure to high-frequency electromagnetic fields. *Sleep Med Rev*. 2004;8(2):95-107.
31. Huber R, Treyer V, Borbély AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, Achermann P. Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res*. 2002;11(4):289-95
32. Schoeni A, Roser K, Rösli M (2015) Symptoms and Cognitive Functions in Adolescents in Relation to Mobile Phone Use during Night. *PloS ONE* 10(7).
33. Thomas S, Heinrich S, von Kries R, Radon K. Exposure to RF-EMF and behavioural problems in Bavarian children and adolescents. *Eur J Epidemiol*. 2010;25:135-41.
34. Zilberlich A. et al. Habits of cell phone usage and sperm quality – does it warrant attention? *Reproductive BioMedicine Online*, 2015, Volume 31, Issue 3, 421-426.
35. Kainz W et al. Electromagnetic compatibility of electronic implants - review of the literature 1. *Wien.Klin.Wochenschr*. 2001;113:903-14.
36. Tandogan I et al. Effects of mobile telephones on the function of implantable cardioverter defibrillators. *Ann.Noninvasive.Electrocardiol*. 2005;10:409-13.
37. Barbaro V et al. On the mechanisms of interference between mobile phones and pacemakers: parasitic demodulation of GSM signal by the sensing amplifier. *Phys Med Biol* 2003;48:1661-71.
38. Trigano A et al. Reliability of electromagnetic filters of cardiac pacemakers tested by cellular telephone ringing. *Heart Rhythm*. 2005;2:837-41.
39. Hekmat K et al. Interference by cellular phones with permanent implanted pacemakers: an update. *Europace*. 2004;6:363-9.
40. Kainz W, Alesch F, Chan DD. Electromagnetic interference of GSM mobile phones with the implantable deep brain stimulator, ITREL-III. *Biomed.Eng Online*. 2003;2:11.
41. McEvoy P et al. Role of mobile phones in motor vehicle crashes resulting in hospital attendance: a case-crossover study. *BMJ* 2005.



42. Redelmeier DA, Tibshirani RJ. Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions. *N.Engl.J.Med.* 1997;336:453-8.
43. Violanti JM. Cellular phones and fatal traffic collisions. *Accid.Anal.Prev.* 1998;30:519-24.
44. Strayer DL et al. A comparison of the cell phone driver and the drunk driver. *Hum Factors.* 2006 ;48:381-91.
45. CENELEC. EN SN 50360: 2013-01 Product standard to demonstrate the compliance of mobile telephones with basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (300 MHz - 3 GHz). Deutsche Fassung EN 50360:2001 + Cor. :2006 + A1:2012.
46. DIN EN 62209-1:2007-03. Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices - Human models, instrumentation, and procedures - Part 1: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for hand-held devices used in close proximity to the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz) (IEC 62209-1:2005); German version EN 62209-1:2006.
47. IEC. 62209-2:2010 Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices - Human models, instrumentation, and procedures - Part 2: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for wireless communication devices used in close proximity to the human body (frequency range of 30 MHz to 6 GHz).
48. SR 814.710 Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (Stand 1.7.2012).
49. Gosselin et al. Experimental and numerical assessment of low-frequency current distributions from UMTS and GSM mobile phones. *Physics in Medicine & Biology*; 2013;58;23

Kontakt für Rückfragen

Bundesamt für Gesundheit BAG
str@bag.admin.ch