

# Elektromagnetische Felder durch Mobilfunk

Unterrichtsthema Handy



# strahlung





Bayerisches Landesamt für  
Umwelt



# Elektromagnetische Felder durch Mobilfunk

Unterrichtsthema Handy

## Impressum

### Elektromagnetische Felder durch Mobilfunk Unterrichtsthema Handy

#### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Tel.: 0821 9071-0  
Fax: 0821 9071-5556  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

#### Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat 28, Clemens Mehnert

#### Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt: Titelbild, S. 5, S. 7, S. 10, S. 13, S. 15 r., S. 16, S. 19, S. 20, S. 22 u., S. 23 u., S. 26, S. 27, S. 29 o. und m., S. 30  
Bundesamt für Strahlenschutz / [www.bfs.de](http://www.bfs.de): S. 24  
Fir0002, [flagstaffotos.com.au](http://flagstaffotos.com.au) (Wikipedia GNU): S. 9 (Metallteile)  
Fotolia.com:  
© Elnur: S. 9 (Mikrowelle); © Felix Abraham: S. 31 (Notarzt); © João Freitas: S. 9 (Röntgenbild); © Julien Rousset: S. 9 (Radioaktivität); © Jürgen Fälchle: S. 9 (Sonne); © lagom: S. 14; © maconga: S. 28, © Martinan: S. 31 (Frau im Auto); © Scanrail: S. 12; © Uwe Fenner: S. 9 (Solarium)  
IMST GmbH / [www.imst.de](http://www.imst.de): S. 21, S. 23 m.  
LUBW, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: S. 6, S. 8, S. 15 l.  
© NatUlrich – Shutterstock.com: S. 31 (Mädchen mit Handy)  
Stephan Hessberger / [oebl.de](http://oebl.de): S. 11  
Wikipedia Creative Commons:  
Ed g2s: S. 29 u.; Jpbw: S. 9 (Turm); Petr Novák: S. 22 (Auge); Sebastian Terfloth: S. 9 (ICE)

#### Druck:

Konrad A. Holtz AG  
Gutenbergstraße 1–3  
95512 Neudrossenfeld  
Gedruckt auf Papier aus 100% Altpapier.

#### Stand:

Mai 2012

#### Auflage:

5.000 Stück

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Einführung</b>	4
<b>1 Das Handy im täglichen Leben</b>	5
<b>2 Physikalische Grundlagen</b>	6
Schwingungen und Wellen	6
Elektromagnetische Wellen	7
Informationsübertragung mit elektromagnetischen Wellen	8
Elektromagnetisches Spektrum	8
Leistungsflussdichte	9
<b>3 Mobilfunktechnik</b>	11
Geschichtliche Entwicklung des Mobilfunks in Deutschland	11
GSM-Netze in Deutschland	11
UMTS-Netze in Deutschland	12
LTE-Netze in Deutschland	12
Hören und Sprechen gleichzeitig, wie funktioniert das?	12
Warum können so viele Leute gleichzeitig telefonieren?	12
Warum steigt die Datenübertragungsgeschwindigkeit mit jeder Mobilfunkgeneration?	14
Bauformen von Mobilfunkantennen	15
Wie stark strahlen Mobilfunkantennen?	16
Welche Reichweite hat eine Mobilfunkbasisstation?	17
Wo sind Mobilfunkbasisstationen in meiner Nähe?	17
Strahlung von Handys	19
Senden Handys immer?	19
Senden Handys immer auf maximaler Leistung?	19
Immissionsvergleich verschiedener Funkdienste	20
<b>4 Biologische Wirkung und Vorsorge</b>	21
Ganzkörpergrenzwerte	21
Teilkörpergrenzwerte	21
SAR-Messung	22
Das deutsche Mobilfunkforschungsprogramm DMF	24
<b>5 Messungen am SAR-Messkopf</b>	26
<b>6 Wie kann man die Strahlung beim Telefonieren verringern?</b>	28
<b>7 Strahlenfänger, Antismog-Chips, EMF-Fallen &amp; Co.</b>	30
<b>8 Handyverbote</b>	31
<b>Anhang</b>	32
Abkürzungen und Erläuterungen	32
Literatur und Internetadressen	35
Kontaktinformationen und Ansprechpartner	36



## Einführung

Das Handy hat unser privates und berufliches Kommunikationsverhalten grundlegend verändert: Wir telefonieren mobil, versenden Kurznachrichten, empfangen E-Mails, surfen mobil im Internet, nutzen soziale Netzwerke auf dem Handy und können uns nicht zuletzt in Notfällen an jedem Ort mit dem Handy Hilfe herbeirufen. Für die meisten Menschen in Deutschland sind Mobiltelefone im täglichen Leben nicht mehr wegzudenken.

Mobiltelefone und Mobilfunkbasisstationen erzeugen elektromagnetische Felder. Die im Wohnbereich und in der Umwelt auftretenden Felder bleiben jedoch weit unter den Grenzwerten, die in der „Verordnung über elektromagnetische Felder“ zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen festgelegt sind. Akute Gesundheitseffekte können daher nicht auftreten. Die Grenzwerte liegen um einen hohen Sicherheitsfaktor unterhalb der Schwellenwerte, bei denen akute Wirkungen nachgewiesen werden konnten. Trotzdem beschäftigen sich seit Jahren Wissenschaftler mit der Frage nach möglichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen elektromagnetischer Felder des Mobilfunks unterhalb der Grenzwerte.

Die Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms (2002–2008) haben Kenntnislücken deutlich verringert und somit die Datenbasis für die Risikobewertung verbessert. Die Ergebnisse geben nach sorgfältiger Prüfung insgesamt keinen Anlass, die Schutzwirkung der bestehenden Grenzwerte in Zweifel zu ziehen. Auf einige Fragen konnte das Programm aber keine abschließenden Antworten geben, vor allem auf die Fragen möglicher Langzeitriskiken für Handynutzungszeiten von mehr als 10 Jahren. Forschungsbedarf gibt es auch weiterhin im Hinblick auf die Frage, ob Kinder empfindlicher reagieren als Erwachsene.

Da Handys direkt an das Ohr gehalten werden, verursachen sie dort eine 1.000- bis 2.500.000-fach höhere Leistungsflussdichte als die Mobilfunkbasisstationen. Minimierung von Mobilfunkimmissionen muss deshalb genauso wie auch die Forschung am **Handy** ansetzen.

In dieser Broschüre werden die Physik und die biologischen Wirkungen elektromagnetischer Felder sowie die Funktechnik von Handys und Mobilfunkbasisstationen beschrieben. Sie enthält wertvolle Tipps, wie die Strahlung beim Telefonieren mit einfachen Mitteln verringert werden kann und welche Methoden wirkungslos sind.

In Kapitel 5 wird ein Messgerät vorgestellt, mit dem die Strahlung eines Handys in wenigen Sekunden gemessen werden kann: Der SAR-Messkopf. Das Bayerische Landesamt für Umwelt stellt im Rahmen des Projekts „Mobilfunk und Schule“ 10 solche SAR-Messköpfe leihweise zur Verfügung und veranstaltet die dafür erforderlichen Fortbildungen für Lehrer. Informationen zu Ausleihe und Fortbildung finden Sie im Anhang der Broschüre.



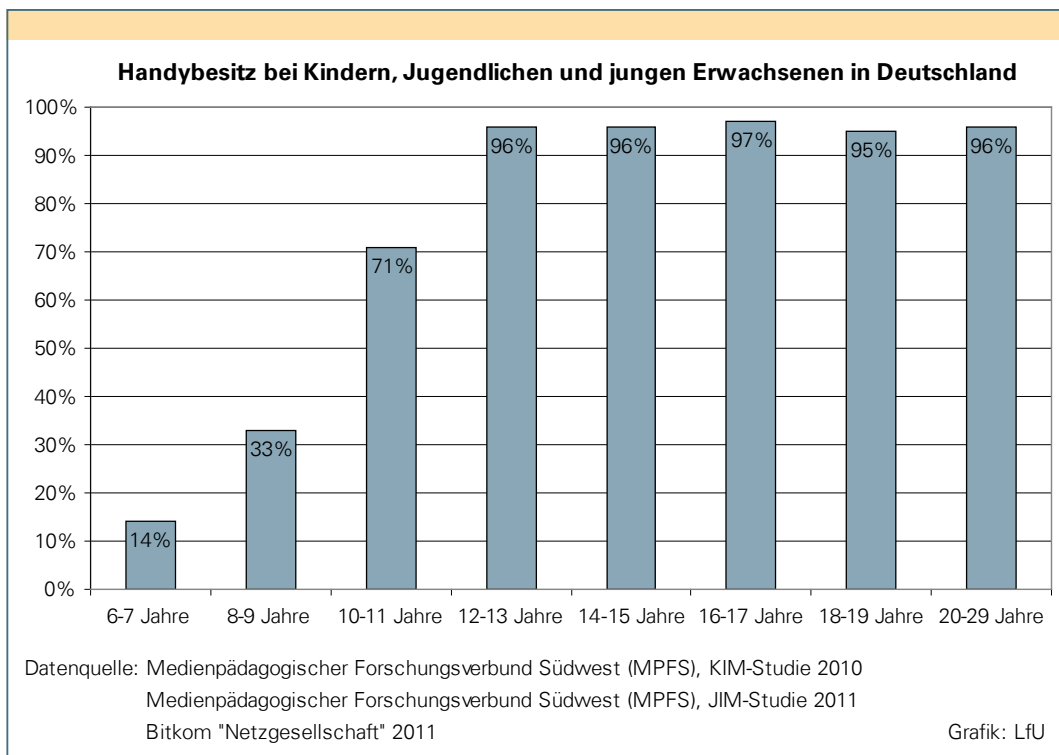
Claus Kumutat  
Präsident des Bayerischen Landesamtes für Umwelt

## 1. Das Handy im täglichen Leben

### Wie werden Handys genutzt?

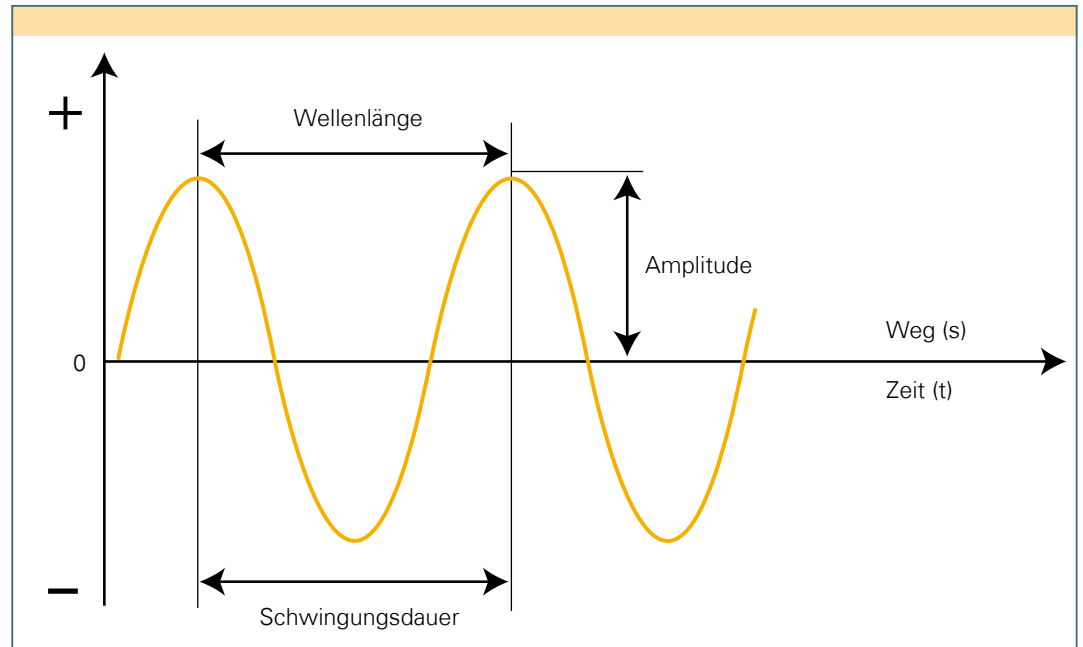
Ungefähr 75 % der Deutschen nutzten im Jahr 2011 mindestens ein Handy, in der Altersgruppe der 14- bis 29-Jährigen waren es bereits 96 %. Handys werden heute noch hauptsächlich zum Telefonieren und zum SMS-Versand eingesetzt. Allein in Deutschland wurden nach Angaben der Bundesnetzagentur im Jahr 2011 rund 193 Milliarden Telefonminuten am Handy telefoniert und 55 Milliarden SMS versandt. Dies entspricht circa 263 Minuten bzw. 75 SMS pro Nutzer und Monat.

Moderne Handys können heute aber weit mehr als nur Telefonieren und SMS. Zu den neuen Anwendungen zählen E-Mail, Internet, MMS (Multimedia Messaging Service), Foto- und Videofunktionen, MP3-Player, UKW-Radio, Terminkalender, Videospiele, Navigation und die Möglichkeit, wie bei einem Computer, eigene Programme (Apps) zu benutzen. Täglich finden in Form von Apps neue Anwendungen den Weg auf moderne Smartphones. Die zunehmende Nutzung der mobilen Datendienste führt zu einem fast explosionsartigen Anstieg der mobilen Datenübertragung mit jährlichen Zuwachsraten bis zu 340 %. In Deutschland wurden im Jahr 2011 pro Nutzer und Monat 127 MByte Daten mobil übertragen – Tendenz stark steigend.



## 2. Physikalische Grundlagen

### Schwingungen und Wellen



Verlauf einer sinusförmigen Welle

Am besten geeignet zum Verständnis einer elektrischen Schwingung sind Wellen auf der Wasseroberfläche, die auch Namensgeber für die elektromagnetische Welle waren. Wellen haben Wellenberge und Wellentäler. Der räumliche Abstand zwischen zwei Wellenbergen oder zwei Wellentälern wird als Wellenlänge  $\lambda$  bezeichnet und in Metern gemessen. Beim Mobilfunk liegt die Wellenlänge ungefähr zwischen 10 cm und 40 cm.

Wasserwellen wandern mit der Zeit über die Wasseroberfläche; an einem festen Ort schwankt der Wasserstand fortwährend. Ein Schiff, das auf einer festen Stelle ankert, schwingt an dieser Stelle auf und ab. Die Zeitdauer zwischen zwei Wellenbergen oder zwei Wellentälern wird als Schwingungsdauer  $T$  bezeichnet und in Sekunden gemessen.

Bildet man von der Schwingungsdauer den Kehrwert, ergibt sich die Frequenz  $f$  mit der Einheit 1/s oder Hertz (Hz). Sie ist ein Maß für die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde.

Beim Mobilfunk liegt die Frequenz zwischen 790 Millionen Schwingungen und 2,7 Milliarden Schwingungen pro Sekunde (790 MHz bis 2,7 GHz).

Die maximale Auslenkung der Schwingung wird als Amplitude bezeichnet. Je nach Art der Schwingung wird hier die passende Einheit verwendet. Während die Amplitude von Wasserwellen in Metern gemessen wird, wird die Amplitude von Schallwellen in Pascal, die Amplitude des elektrischen Wechselfeldes in Volt pro Meter und die Amplitude des magnetischen Wechselfeldes in Ampere pro Meter gemessen.

Wellen haben eine Ausbreitungsgeschwindigkeit. Bei Wasserwellen liegt sie typisch bei 5 bis 10 m/s, bei Schall beträgt sie 343 m/s (Schallgeschwindigkeit in Luft bei 20 °C).



Die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen ist im Vakuum und in guter Näherung in Luft für alle Frequenzen gleich und entspricht der Lichtgeschwindigkeit, die rund 300.000 km/s beträgt. Es gibt folgenden physikalischen Zusammenhang zwischen der Wellenlänge  $\lambda$ , der Frequenz  $f$ , der Schwingungsdauer  $T$  einer elektromagnetischen Welle sowie der Lichtgeschwindigkeit  $c$ :

$$\lambda = T \cdot c \quad \text{bzw.} \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

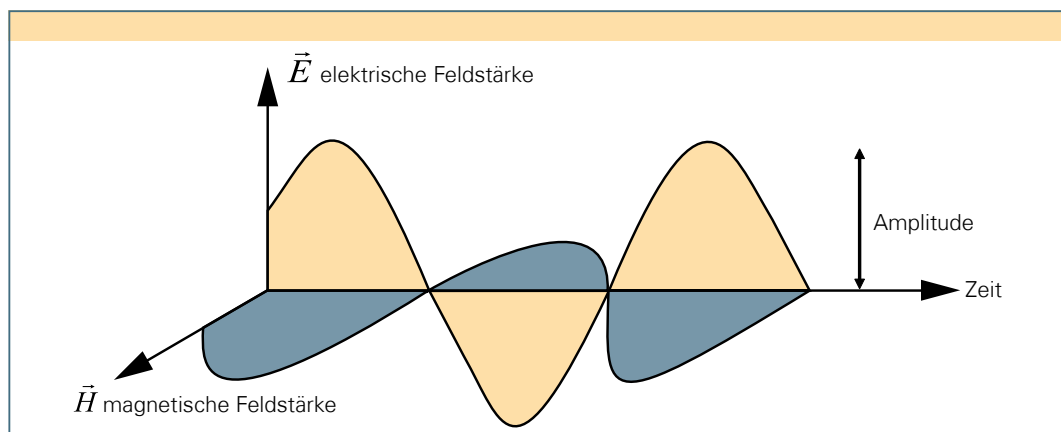
Eine elektromagnetische Welle der Frequenz 900 MHz hat somit eine Schwingungsdauer von 1,11 ns und eine Wellenlänge von 33 cm.

## Elektromagnetische Wellen

Elektrische und magnetische Felder stehen in einem engen Zusammenhang: Elektrische Felder bewegen elektrische Ladungen, bewegte elektrische Ladungen erzeugen magnetische Felder und magnetische Wechselfelder erzeugen (induzieren) wiederum elektrische Felder. Diese wechselseitige enge Verknüpfung ist umso stärker, je schneller die Feldänderungen erfolgen, das heißt, je höher die Frequenz ist. Bei hohen Frequenzen über 30 Kilohertz (kHz) können die beiden Felder nicht mehr getrennt betrachtet werden. Man spricht nun von **elektromagnetischen Feldern** oder Wellen.

Während niederfrequente Wechselfelder meist unerwünschte Nebeneffekte bei der Übertragung und Nutzung elektrischer Energie sind, werden hochfrequente elektromagnetische Felder in der Regel absichtlich zur Informationsübertragung erzeugt. Im Niederfrequenzbereich können elektrische und magnetische Felder getrennt betrachtet werden, man spricht von „entkoppelten“ Feldanteilen oder vom Nahfeld der Quelle. Im Gegensatz dazu sind im Hochfrequenzbereich elektrisches und magnetisches Feld eng miteinander verknüpft bzw. „gekoppelt“; man spricht vom Fernfeld der Quelle bzw. von elektromagnetischen Wellen. Fernfeldbedingungen sind gegeben, wenn der Abstand von der Quelle groß im Vergleich zur Wellenlänge ist. Bei Mobiltelefonen ist dies in der Regel bereits in einem Meter Entfernung der Fall.

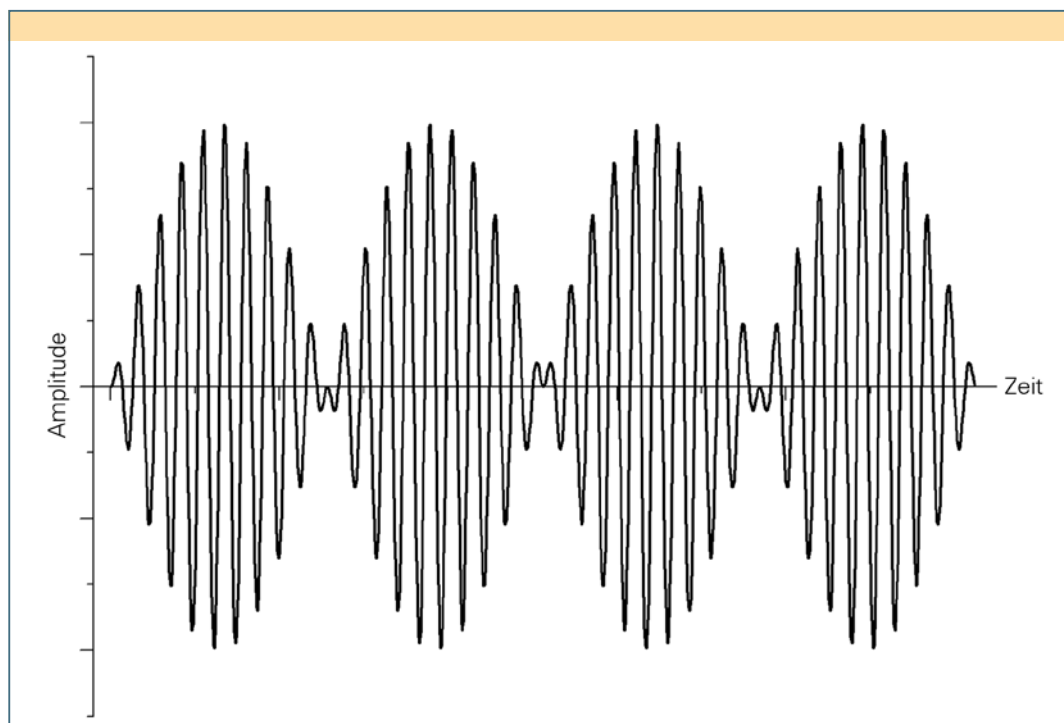
Elektromagnetische Felder können sich von der Quelle, z. B. einer Antenne, lösen und im Raum über große Entfernungen ausbreiten. Diese Eigenschaft wird zur Informationsübertragung z. B. bei Rundfunk, Fernsehen und Mobilfunk genutzt.



Elektromagnetische Wellen im Fernfeld der Quelle.

## Informationsübertragung mit elektromagnetischen Wellen

Zur Informationsübertragung wird einer reinen hochfrequenten Sinusschwingung das zu übertragende Bild-, Ton- oder Datensignal aufgesetzt. Das Verfahren wird als Modulation bezeichnet. Die Trägerschwingung kann dazu sowohl in ihrer Amplitude (Amplitudenmodulation AM, siehe Abbildung unten), in ihrer Frequenz (Frequenzmodulation FM) als auch in ihrer Phase (Phasenmodulation PM) verändert werden. Je nach Verfahren werden alle Parameter oder nur einzelne Parameter des Trägersignals verändert. Bei der analogen Amplitudenmodulation erfolgt beispielsweise nur eine Variation der Amplitude des Trägersignals, während die anderen Parameter der Trägerfrequenz keine Information beinhalten. Die modulierte Trägerschwingung kann dann zum Empfänger übertragen werden, der mittels Demodulation die ursprüngliche Ton-, Bild- oder Dateninformation wiedergewinnt.



Die einfachste Form einer Modulation: Amplitudenmodulation

## Elektromagnetisches Spektrum

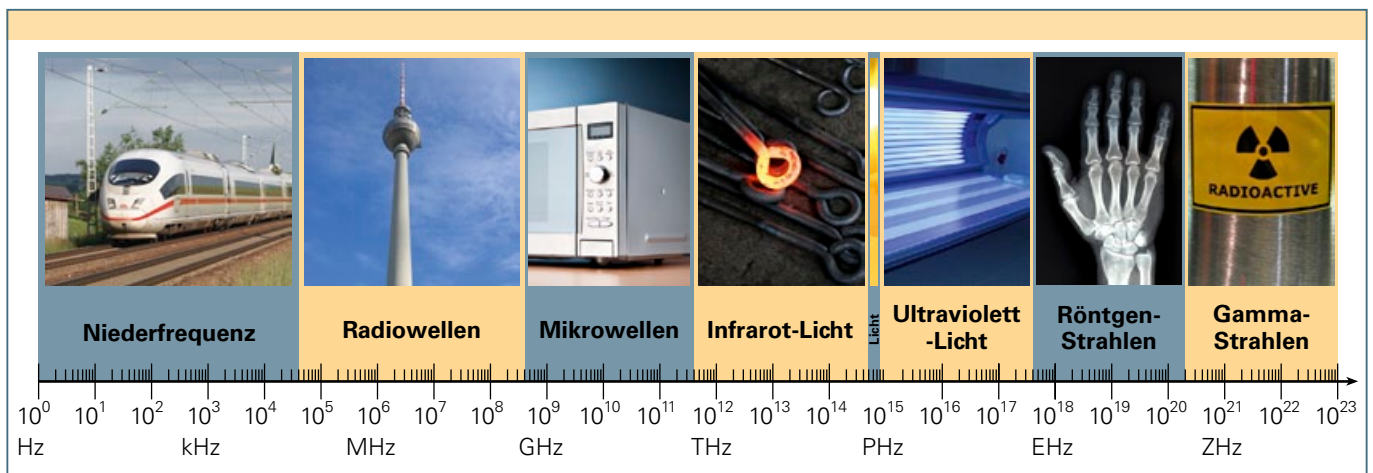
Der physikalische Begriff der elektromagnetischen Wellen bzw. Felder und Strahlen umfasst einen weiten Frequenzbereich. Man spricht von Gleichfeldern oder statischen Feldern, wenn sich die Polarität nicht oder nur sehr langsam ändert, die Frequenz also null bzw. fast null ( $< 0,1$  Hz) ist. In einer groben Aufteilung wird der Bereich von 0,1 Hz bis etwa 30 kHz als Niederfrequenz und der Bereich von 30 kHz bis 300 GHz als Hochfrequenz bezeichnet. Das Frequenzband von 30 kHz bis 300 MHz wird vielfach als Radiofrequenzband, zusammengesetzt aus Langwellen (LW), Mittelwellen (MW), Kurzwellen (KW) und Ultrakurzwellen (UKW), bezeichnet.

Im Bereich von 300 MHz bis 300 GHz spricht man von Mikrowellen. Den Mikrowellenbereich nutzen z. B. Fernsehsender, Mobilfunknetze, Radaranlagen und Mikrowellenherde.

Im Bereich von 300 GHz bis 384 THz spricht man von infrarotem Licht, infraroter Strahlung oder auch von Wärmestrahlung. Der Frequenzbereich von 384 THz bis 789 THz ist für das menschliche Auge sichtbar, er wird deshalb als sichtbares Licht bezeichnet. Das ultraviolette Spektrum umfasst den Frequenzbereich von 789 THz bis 300 PHz.

Das elektromagnetische Spektrum kann in zwei Bereiche aufgeteilt werden: Den der nichtionisierenden Strahlung und den der ionisierenden Strahlung. Zur ionisierenden Strahlung zählen kurzwellige ultraviolette Strahlung ab etwa 1,5 PHz, Röntgenstrahlung und Gammastrahlung, die eine hohe Quantenenergie haben und die Bindungen zwischen Atomen und Molekülen im Körper auflösen können. Ionisierende Strahlen aller Art gelten als krebserregend.

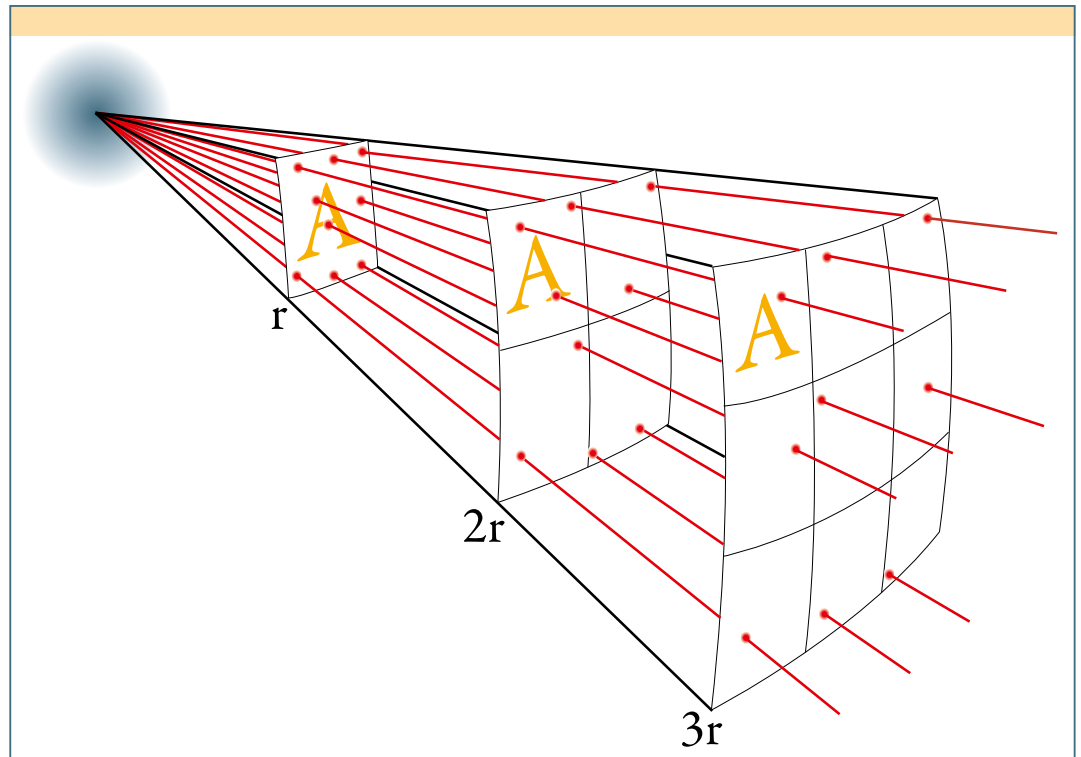
Elektromagnetisches Spektrum



### Leistungsflussdichte

Elektromagnetische Wellen transportieren Energie, die sich aus den Energieanteilen des elektrischen und des magnetischen Feldes zusammensetzt. Das Maß für die Stärke einer elektromagnetischen Welle ist die Leistungsflussdichte  $S$ . Sie ist definiert als Leistung pro Fläche. Das bedeutet, sie gibt die durch eine Fläche  $A$  fließende Leistung an, die durch ein elektromagnetisches Wellenfeld transportiert wird. Die Leistungsflussdichte wird in Watt pro Quadratmeter ( $W/m^2$ ) gemessen und ist das Produkt aus der elektrischen Feldstärke  $E$  und der magnetischen Feldstärke  $H$ .

Im Fernfeld einer Quelle (z. B. einer Antenne) stehen die Leistungsflussdichte und die beiden Feldstärken in einem festen Verhältnis zueinander. Dort reicht es aus, eine der drei Größen zu kennen.



Die Leistungsflussdichte nimmt mit dem Abstand quadratisch ab (schematische Darstellung).

Die Leistungsflussdichte nimmt quadratisch mit der Entfernung ab. Man kann sich ein dunkles Wohnzimmer mit einer Lampe vorstellen. Ein Mann möchte ein Buch lesen. Je näher er das Buch an die Lampe hält, umso mehr Lichtstrahlen fallen auf die Buchseite und umso heller erscheint sie.

Die Punktquelle in der Grafik steht für eine Lampe oder eine Mobilfunkantenne. Jeder rote Strahl steht symbolisch für einen bestimmten Leistungsfluss (z. B. 1 W). Die Menge der durch eine Fläche  $A$  hindurchtretenden Strahlen ist ein Maß für die Leistungsflussdichte. Im Abstand  $r$  ist die Leistungsflussdichte neunmal so hoch (9 Strahlen) wie im Abstand  $3r$  (1 Strahl). Die Gesamtzahl aller Strahlen ist der Leistungsfluss der Quelle.

Bei zunehmendem Abstand von der Quelle nimmt die Leistungsflussdichte unter idealen Bedingungen umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes ab ( $1/r^2$ -Gesetz): Bei Verzehnfachung des Abstandes (1 m  $\rightarrow$  10 m) reduziert sich die Flussdichte auf ein Hundertstel (100 %  $\rightarrow$  1 %) des Ausgangswertes.

### 3. Mobilfunktechnik (Schwerpunkt Handy)

#### Geschichtliche Entwicklung des Mobilfunks in Deutschland

Die Anfänge des analogen Mobilfunks in Deutschland mit dem A-Netz gehen auf das Jahr 1958 zurück. Es folgten 1972 das B-Netz und 1984 das C-Netz. Mit der Einführung des digitalen D-Netzes (GSM-900) im Jahr 1992 und des digitalen E-Netzes (GSM-1800) im Jahr 1994 wurde die Grundlage für den weltweiten Mobilfunkboom gelegt, der bis heute anhält und mittlerweile Milliarden Menschen umfasst. Die Sprache wird beim digitalen Mobilfunk in eine Folge von Nullen und Einsen verwandelt, digital komprimiert und in Form kleiner Datenpakete im Mobilfunknetz übertragen.

Alle Mobiltelefone in Deutschland unterstützen heute den GSM-Standard (Global System for Mobile Communications), der neben einer guten Übertragungsqualität auch Datenanwendungen ermöglicht. Seit 2001 wird in Deutschland das UMTS-Netz ausgebaut, das mittlerweile in weiten Flächen verfügbar ist. Mit UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) und HSPA (High Speed Packet Access, seit 2006) ist mobiles Internet-Surfen mit hoher Geschwindigkeit bis zu 42 MBit/s möglich. Moderne Smartphones unterstützen deshalb neben dem GSM-Standard auch den UMTS-Standard und wechseln je nach Verfügbarkeit zwischen beiden Netzen automatisch. In den neuen LTE-Netzen (Long Term Evolution), die seit 2011 ausgebaut werden, sind Übertragungsgeschwindigkeiten bis zu 100 MBit/s geplant.

Da das letzte analoge Mobilfunknetz in Deutschland (C-Netz) bereits im Jahr 2000 eingestellt wurde, gibt es heute mit GSM, UMTS und LTE nur noch digitale Mobilfunknetze. Während in Deutschland wegen der hohen Nachfrage nach mobilem Internet die UMTS- und LTE-Netze weiter ausgebaut werden, schwindet langfristig die Bedeutung der GSM-Netze.

#### GSM-Netze in Deutschland

GSM ist ein Mobilfunkstandard, der hauptsächlich für Telefongespräche, aber auch für Datenübertragung und SMS genutzt wird. GSM wird als Standard der zweiten Generation (2G) bezeichnet und ist heute der weltweit am meisten verbreitete Mobilfunkstandard. Auch in Deutschland sind heute nur die GSM-Netze annähernd flächendeckend ausgebaut, deswegen unterstützen heute alle in Deutschland verfügbaren Handys sowohl GSM-900 als auch GSM-1800. Vorteile von GSM sind die hohe Zuverlässigkeit, die konkurrenzlos niedrigen Kosten von Handys sowie die hohe internationale Verbreitung. Nachteile von GSM sind die geringe Datenübertragungsgeschwindigkeit mit maximal 220 kBit/s und die geringe Datenübertragungskapazität.



A-Netz-Autotelefon der Firma TE-KA-DE aus dem Jahre 1961.



Als das Handy noch „porty“ hieß. C-Netz-Telefon von Philips aus dem Jahre 1988.



### UMTS-Netze in Deutschland

UMTS ist ein Mobilfunkstandard der dritten Generation (3G), der sowohl für Telefonie als auch für Datenübertragung genutzt wird. Mit UMTS sind im Vergleich mit GSM bis zu 200-fach höhere Datenübertragungsraten möglich (bis zu 42 MBit/s mit HSPA+). UMTS-Netze sind in Deutschland heute nur in Städten flächendeckend verfügbar, auf dem Land sind sie bislang wenig verbreitet. Je nach Netzbetreiber lag die Flächenversorgung mit UMTS in Deutschland Mitte 2010 zwischen 20 % und 49 % und nur 40 % der Basisstationen waren UMTS-fähig (Angaben der Bundesnetzagentur). Da moderne Smartphones in der Regel UMTS-fähig sind, lag die Zahl der regelmäßigen UMTS-Nutzer in Deutschland im Jahr 2010 schon bei über 20 Millionen.

### LTE-Netze in Deutschland

LTE ist ein Mobilfunkstandard der vierten Generation (4G), der in erster Linie für Datenübertragung genutzt wird und Datenübertragungsraten bis zu 100 MBit/s ermöglicht. Da LTE ein reines Datennetz ist, müssen Telefongespräche mit Hilfe von Internetdatenpaketen übertragen werden, wie es bei DSL-Anschlüssen heute schon üblich ist (VoIP). Die LTE-Netze befinden sich noch in einem sehr frühen Stadium. Eine nennenswerte Flächenversorgung und damit eine mobile Nutzung von LTE ist nicht vor 2013 zu erwarten.

### Hören und Sprechen gleichzeitig, wie funktioniert das?

Während beim Rundfunk alle Teilnehmer nur empfangen (Ein-Weg-Kommunikation), findet beim Mobilfunk eine Zwei-Wege-Kommunikation statt. Sowohl die Mobilfunkbasisstation als auch die mobilen Endgeräte (z. B. Handys, UMTS-Sticks) können Informationen sowohl senden als auch empfangen. Die Senderichtung von der Basisstation zum Handy heißt „Downlink“, die umgekehrte Senderichtung vom Handy zur Basisstation wird als „Uplink“ bezeichnet. Damit Hören und Sprechen am Handy gleichzeitig möglich sind (Gegenbetrieb), senden Handy und Basisstation gleichzeitig auf unterschiedlichen Frequenzen. Man nennt dieses Verfahren Frequenzduplex (engl. Frequency Division Duplexing, FDD), es wird von GSM, UMTS und LTE verwendet. Alternativ können Basisstation und Mobilteil auch abwechselnd auf derselben Frequenz senden, wie es z. B. bei schnurlosen DECT-Telefonen und WLAN üblich ist. Man nennt dieses Verfahren Zeitduplex (engl. Time Division Duplexing, TDD). Die TDD-Varianten von UMTS und LTE sind in Deutschland bislang kommerziell noch nicht verfügbar, die nötigen Frequenzen stehen den Betreibern aber schon zur Verfügung.

### Warum können so viele Menschen gleichzeitig mobil telefonieren?

Während beim Rundfunk alle Menschen an einem Ort die gleichen Radio- oder Fernsehprogramme nutzen können, gibt es beim Mobilfunk oft Tausende Nutzer, die auf einem kleinen Gebiet gleichzeitig telefonieren möchten, ohne in fremden Telefonaten mithören zu wollen. Beim Mobilfunk ist es deshalb wichtig, die vorhandenen Funkkapazitäten möglichst effizient einzelnen Nutzern zuzuteilen. Es gibt dazu mehrere Lösungen, sogenannte Vielfachzugriffsverfahren (Multiple-Access):

#### 1. Aufteilung des Frequenzbands in viele einzelne Funkkanäle (FDMA)

Frequenzbänder sind Teilbereiche des elektromagnetischen Spektrums die für eine bestimmte Funkanwendung zur Verfügung stehen. Das UKW-Hörfunkband in Deutschland

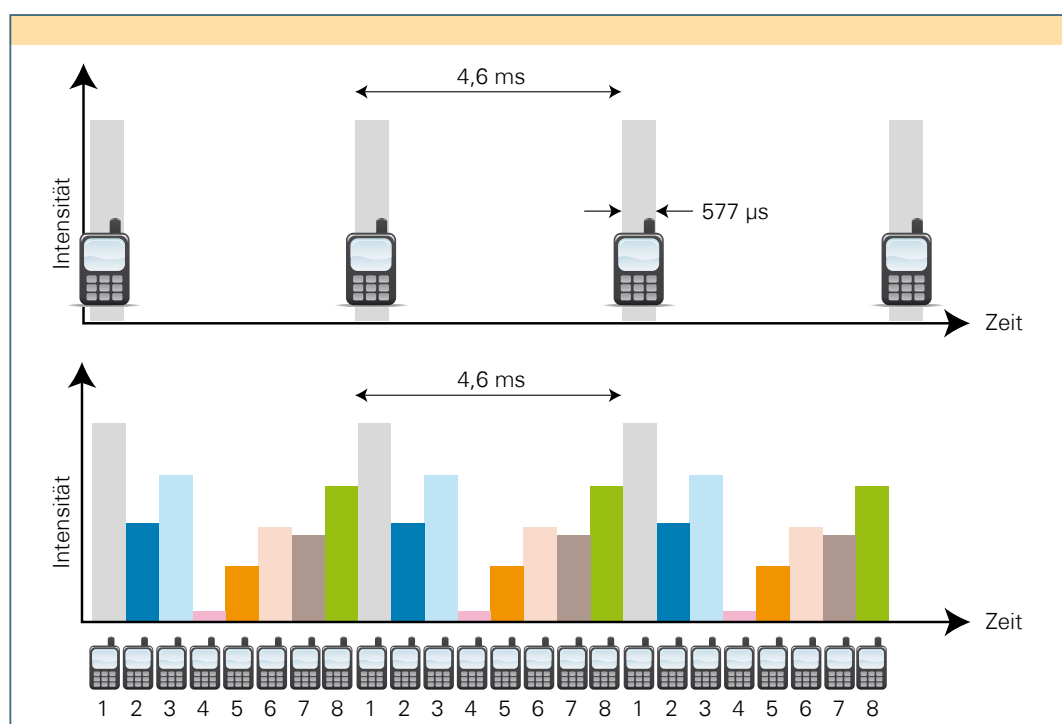
liegt beispielsweise im Frequenzbereich von 87,5 bis 108 MHz. Dieser 20,5 MHz breite Frequenzbereich wird in 204 UKW-Kanäle mit einer Kanalbreite von je 100 kHz aufgeteilt, auf denen viele verschiedene Radioprogramme gleichzeitig übertragen werden können.

Die getrennte Übertragung mehrerer Signale in unterschiedlichen Frequenzbereichen nennt man Frequenzmultiplex (engl. Frequency Division Multiplexing, FDM). Es wird von allen analogen Funkdiensten (wie z. B. UKW, Mittelwelle, Kurzwelle, analoger Mobilfunk) verwendet und findet auch bei digitalen Funkdiensten Anwendung. So stehen in Deutschland den Mobilfunkbetreibern heute rund 400 digitale GSM-Kanäle mit einer Kanalbreite von je 200 kHz zur Verfügung.

Während der Hörer beim UKW-Rundfunk manuell eine bestimmte Frequenz wählt und sich damit für einen bestimmten Sender entscheidet, verwaltet die Basisstation die GSM-Kanäle automatisch und weist sie den einzelnen Handys flexibel zu. Das Verfahren wird als Frequenzmultiplex-Vielfachzugriffsverfahren (engl. Frequency Division Multiple Access, FDMA) bezeichnet.

## 2. Aufteilung eines Funkkanals in mehrere Zeitschlitze (TDMA)

Dieses sogenannte Zeitmultiplex-Vielfachzugriffsverfahren (engl. Time Division Multiple Access, TDMA) beherrschen nur digitale Mobilfunksysteme wie z. B. GSM oder der digitale Behördenfunk TETRA. Jeder GSM-Kanal ist zur Steigerung der Übertragungskapazität in acht Zeitschlitze unterteilt. Eine GSM-Mobilfunkbasisstation kann also auf einem Kanal bis zu 8 Handygespräche in kleinen Datenpaketen übertragen. Diese Datenpakete werden in Abständen von 4,6 Millisekunden, also 217-mal in der Sekunde gesendet. Das Handy sendet bei Telefongesprächen nur in einem Achtel der Zeit, die restlichen sieben Achtel sendet es nicht.



Schematische Darstellung der Signalformen von GSM-Handys während eines Telefongesprächs.

Schematische Darstellung des Zeitmultiplex-Vielfachzugriffsverfahren einer GSM-Basisstation. Der Verkehrskanal ist leistungsgeregelt, es können maximal acht Gespräche abgewickelt werden.



### 3. Aufteilung eines Funkkanals in mehrere Codekanäle (CDMA)

Dieses sogenannte Codemultiplexverfahren (engl. Code Division Multiple Access, CDMA) beherrschen ebenfalls nur digitale Funkssysteme wie z. B. CDMA2000 oder UMTS. Während bei GSM die Teilnehmer durch unterschiedliche Frequenz- und Zeitkanäle getrennt werden, kommunizieren bei UMTS alle Basisstationen bzw. alle Mobilgeräte zeitgleich (keine Zeitschlitz) über denselben Frequenzkanal (Gleichwellennetz). Die Trennung der Teilnehmer erfolgt mathematisch (orthogonale Codes) statt physikalisch über Zeitschlitz oder Frequenzkanäle. UMTS-Signale unterscheiden sich deshalb auch grundlegend von GSM-Signalen. UMTS-Handys senden während einer Verbindung kontinuierlich und nicht gepulst. Ein Vorteil von UMTS ist, dass die Übertragungskapazität einer Funkzelle sehr flexibel einzelnen Teilnehmern zugewiesen werden kann.

### 4. Aufteilung eines breiten Frequenzbereiches in ein Vielträgersignal (OFDMA)

Das Orthogonale Frequenzmultiplexverfahren (engl. Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA) stellt eine Sonderform des FDMA dar. Es kommt beim jüngsten Mobilfunkstandard LTE zum Einsatz und wird auch bei WLAN verwendet. Im Gegensatz zum FDMA sind die Kanäle (Träger) hier nicht völlig unabhängig voneinander, sondern stehen in einer festen Amplituden-, Frequenz- und Phasenbeziehung zueinander. Sie können deshalb vom Empfänger durch ein spezielles Rechenverfahren (FFT) alle gleichzeitig aus dem Gesamtsignal wieder herausgefiltert und verarbeitet werden. Wie bei UMTS können auch bei diesem Verfahren die Ressourcen dynamisch immer den Teilnehmern zugeteilt werden, die sie gerade benötigen. Es ist sogar möglich, die gesamte Bandbreite der Funkzelle an einen Nutzer zu vergeben.

## Warum steigt die Datenübertragungsgeschwindigkeit mit jeder Mobilfunkgeneration?

Aufgrund der stark steigenden Nachfrage nach mobilem Internet werden die Mobilfunktechnologien zu immer höheren Datenübertragungsgeschwindigkeiten hin optimiert. Technisch wird dies durch mehrere Maßnahmen realisiert.

- **Erhöhung der Kanalbreite des Funkkanals:**  
Bei GSM beträgt die Kanalbreite 200 kHz, bei UMTS 5 MHz und bei LTE 10 bis 20 MHz.
- **Flexible Zuteilung der Übertragungsressourcen:**  
Bei UMTS und LTE kann die Übertragungskapazität der Funkzelle dynamisch zugeteilt werden. Es ist sogar möglich, die gesamte Bandbreite der Funkzelle an einen Nutzer zu vergeben. Bei GSM ist eine flexible Zuteilung nur sehr eingeschränkt möglich, zudem ist die Übertragungskapazität eines GSM-Kanals vergleichsweise gering.
- **Leistungsfähigere digitale Modulationen**  
Da immer leistungsfähigere Signalprozessoren zur Verfügung stehen, ist mit jeder neuen Mobilfunkgeneration die Verwendung von immer leistungsfähigeren digitalen Modulationen möglich.
- **Mehr Basisstationen, kleinere Funkzellen**  
Schnelle Datenübertragung funktioniert nur bei guten Empfangsbedingungen, der Nutzer sollte dazu nicht weiter als etwa 500 m von der Basisstation entfernt sein und sich die Funkzelle nicht mit zu vielen Nutzern gleichzeitig teilen müssen. Die Netzbetreiber verdichten ihr Mobilfunknetz deshalb durch neue Senderstandorte und teilen das Umfeld des Senders mit Sektorantennen in mehrere Funkzellen auf.

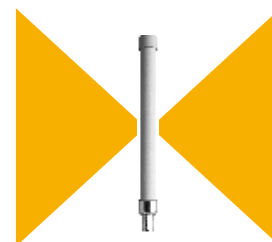


## Bauformen von Mobilfunkantennen

Mobilfunkbasisstationen bestehen aus Antennen, einem Antennenträger und Elektronikschaltschränken, die über Kabel an die Antennen angeschlossen sind. Für die Aufstellung der Antennen werden vorrangig höher gelegene Masten oder hohe Gebäude gesucht, damit die einzelnen Antennen möglichst abschattungsfrei eine Funkverbindung zu den Handys herstellen können.

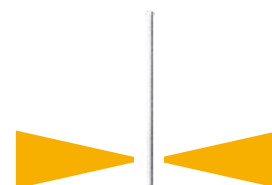
Bei Mobilfunkbasisstationen kommen unterschiedliche Bauformen von Antennen zum Einsatz. Es handelt sich dabei um Rundstrahlantennen (Omniantennen) oder Sektorantennen (Panelantennen), welche je nach gewünschter Reichweite die elektromagnetischen Wellen schwach bis sehr stark bündeln. In den nebenstehenden Abbildungen ist jeweils der vertikale Abstrahlwinkel in Grad und die Antennenhöhe angegeben.

Rundstrahlantennen (Abbildung rechts) strahlen parallel zum Erdboden kreisförmig in alle Richtungen (omnidirektional) ab und bündeln nur vertikal. Sie sind sehr dünn und optisch unauffällig. Die Antennenkonstruktion ist sehr preiswert, bietet aber nur eine geringe Übertragungskapazität von 20 bis 30 Telefonaten gleichzeitig.



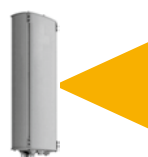
78°  
21 cm

Sektorantennen (Abbildung unten) bündeln den Strahl wie ein Scheinwerfer horizontal und vertikal. Sie werden meist zu dritt an einem Mast befestigt und versorgen jeweils einen Kreissektor von 120°. Die Übertragungskapazität kann so bei gleicher Sendeleistung auf 60 bis 90 Gespräche verdreifacht werden. Sektorantennen können zudem gezielt in eine bestimmte Richtung ausgerichtet werden.



11°  
30 cm

Die oft vorgetragene Befürchtung, dass große Antennen stärker strahlen oder gefährlicher sind als kleine, ist unbegründet. Im Gegenteil: Die starke vertikale Bündelung hat zur Folge, dass das bodennahe Umfeld unterhalb der Antenne bzw. die Räume eines Gebäudes, auf dem die Antenne steht, wesentlich geringere Immissionen durch hochfrequente elektromagnetische Wellen erfahren, als man dies von der Entfernung her erwarten würde. Deutlich wird dies in den Computersimulationen auf den folgenden Seiten.



27°  
70 cm

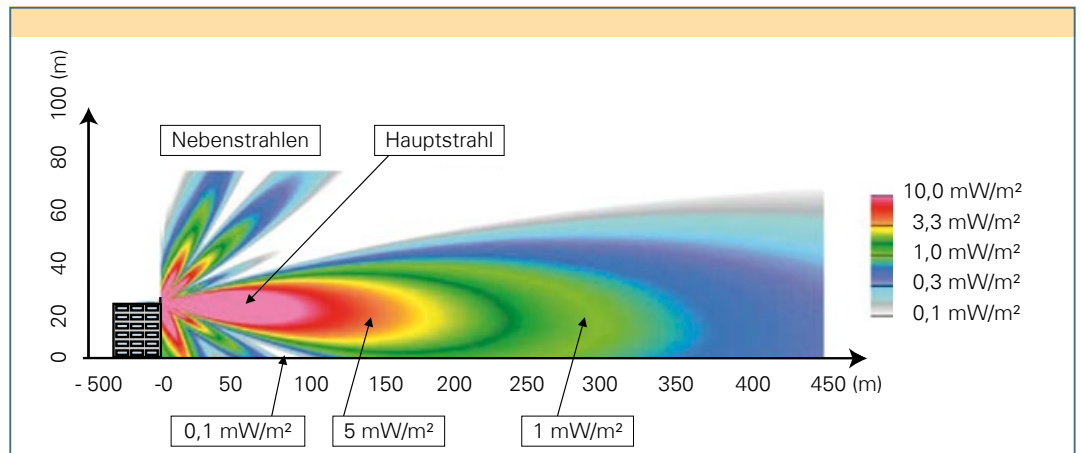


15°  
130 cm



7,5°  
260 cm

### Wie stark strahlen Mobilfunkantennen?

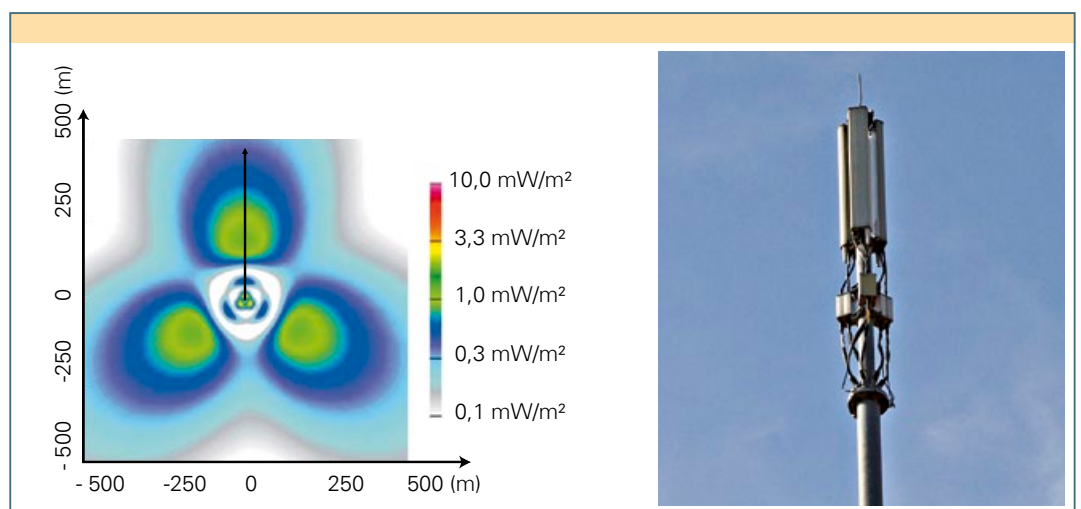


Vertikale Bündelung einer Sektorantenne.

Mit Computerprogrammen kann das Abstrahlverhalten einer Mobilfunkantenne simuliert werden. Hier ist das Abstrahlverhalten einer typischen Mobilfunk-Sektorantenne dargestellt, die mit 40 W gespeist wird und auf einem Haus in 30 m Höhe montiert ist.

In der Abbildung oben ist deutlich der Hauptstrahl zu sehen, der in einer Entfernung von 150 bis 200 m den Boden trifft. Neben dem Hauptstrahl treten in bestimmten Winkeln sogenannte Nebenstrahlen auf. Sie sind deutlich schwächer als der Hauptstrahl und treffen viel früher, nach etwa 20 und 60 m, auf den Erdboden. Die Leistungsflussdichte am jeweiligen Standort hängt also entscheidend davon ab, ob dieser in Haupt- oder Nebenstrahlrichtung der Antenne liegt.

Als Nebenstrahl wird der Teil der elektromagnetischen Strahlung einer Antenne bezeichnet, der nicht in die gewollte Richtung abgestrahlt wird.



Horizontale Bündelung einer Mobilfunkantenne mit drei Sektorantennen.

In der Abbildung oben ist die Simulation einer Mobilfunkantenne mit drei Sektorantennen dargestellt, die um jeweils 120° versetzt an einem Mast montiert sind. Es wurden bis auf die Antennenzahl und die Perspektive dieselben Parameter und Farben wie in der Abbildung oben verwendet. Man blickt von oben auf die Umgebung der Antenne.

Die Farben symbolisieren die Leistungsflussdichte in 1 m Höhe über dem Erdboden. Die Farbe Weiß steht für Flussdichten kleiner als  $0,1 \text{ mW/m}^2$ , Rosa steht für Flussdichten größer als  $10 \text{ mW/m}^2$ . Die Farben für die Simulation sind willkürlich gewählt.

Da der Hauptstrahl erst in circa 170 m Entfernung von der Antenne den Boden trifft, treten dort Flussdichten auf, die kleiner als  $2 \text{ mW/m}^2$  sind (hier dunkelgrün). Der Pfeil in der Abbildung links unten bezeichnet die Schnittebene der Abbildung links oben.

Betrachtet man einen Punkt außerhalb des Hauptstrahls oder wird der Hauptstrahl durch Gebäude gedämpft, so sind die Werte sehr viel niedriger. Dies gilt ebenso in Gebäuden und an Orten ohne direkten Sichtkontakt zu einem Mobilfunkmast; dort werden Leistungsflussdichten von  $1 \text{ mW/m}^2$  selten erreicht. In Wohnungen liegen typische Werte zwischen  $0,001 \text{ mW/m}^2$  ( $1 \text{ } \mu\text{W/m}^2$ ) und  $1 \text{ mW/m}^2$ .

## Welche Reichweite hat eine Mobilfunkbasisstation?

Bei Rundfunk und Fernsehen kann aufgrund der hohen Sendeleistungen in der Regel mit einem Sendeturm ein sehr großes Gebiet von über 100 km Umkreis versorgt werden. Im Gegensatz dazu benötigt Mobilfunk aus Gründen der Übertragungskapazität und der geringen Handysendeleistung ein sogenanntes „zellulares Netz“ mit einer Vielzahl kleinräumiger, lückenlos überlappender „Funkzellen“.

Verantwortlich für die Versorgung einer Funkzelle ist die Basisstation. Jede Mobilfunkbasisstation kann einen Umkreis von einigen Hundert Metern bis zu mehreren Kilometern abdecken. Der maximal zulässige Funkzellradius bei GSM beträgt 35 km, an den Küsten bis zu 70 km. Hier wird das Funksignal zur Reichweitensteigerung leicht verändert, da nur wenige Benutzer in einem großen Gebiet versorgt werden müssen.

Die meisten Mobilfunkzellen sind jedoch nicht reichweitenbegrenzt, sondern kapazitätsbegrenzt. Jede Basisstation kann nur eine bestimmte Anzahl von Gesprächen (rund 20 bis 90) gleichzeitig übertragen. Bei Datenverbindungen sinkt die Zahl der gleichzeitigen Nutzer auf 2 bis 20. Die Größe einer Funkzelle ergibt sich daher meist aus der Teilnehmerdichte. Innerstädtisch sind die Sendemasten deshalb in Abständen von wenigen Hundert Metern aufgestellt.

Eine neue Entwicklung sind Femtozellen – häusliche Basisstationen, die wie WLAN-Router einen Zellradius von wenigen Metern haben und so auf kleinstem Raum hohe Kapazitäten zur Verfügung stellen können. Diese Klein- und Kleinstsender arbeiten mit sehr niedrigen Sendeleistungen von 1 W und weniger.


## Wo sind Mobilfunkbasisstationen in meiner Nähe?


Auf der Internetseite der Bundesnetzagentur [emf.bundesnetzagentur.de](http://emf.bundesnetzagentur.de) sind alle genehmigungspflichtigen Sender in Deutschland verzeichnet. Da die Internetseite frei zugänglich ist, kann jeder die Sendeanlagen in der eigenen Umgebung selbst überprüfen. In den angezeigten Karten sind die Standorte von Sendeanlagen mit orangen Dreiecken gekennzeichnet. Man kann in den Karten anhand der Senderdichte indirekt ablesen, wie viel an einem Ort typischerweise mobil telefoniert wird.

An den grünen Punkten fand in der Vergangenheit eine Messung der Bundesnetzagentur statt.

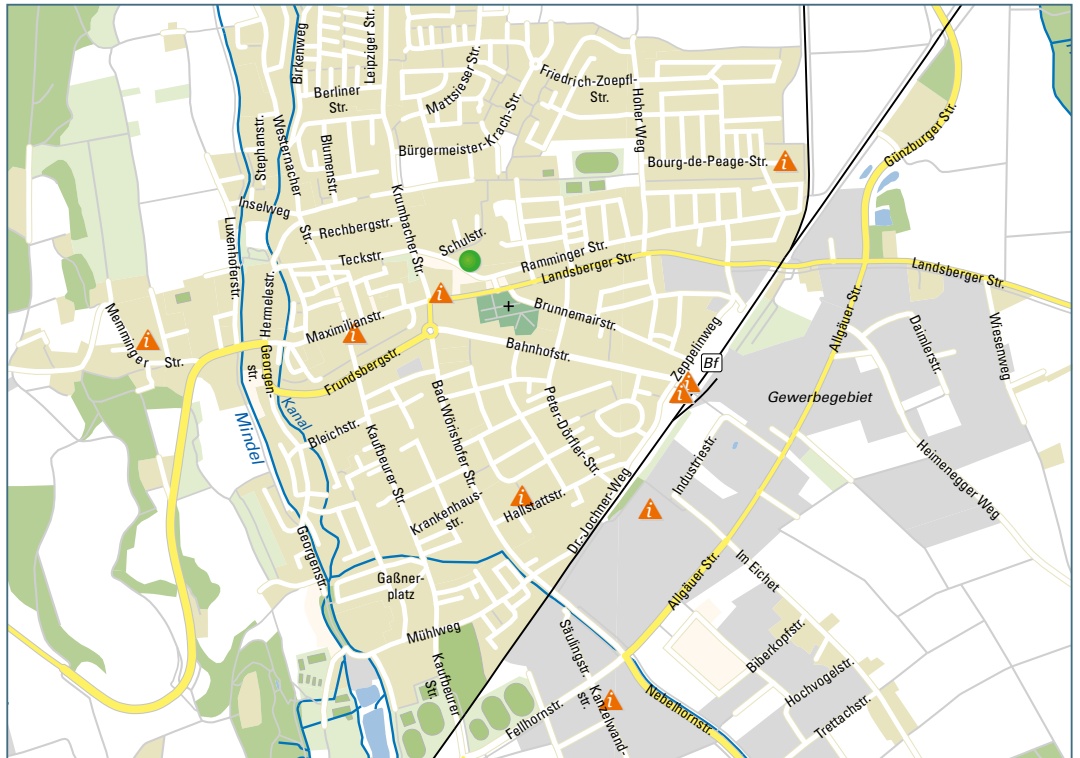
In einer Großstadt wie München ist die Senderdichte hoch, hier wird offensichtlich deutlich mehr mobil telefoniert als in einer Kleinstadt wie Mindelheim mit circa 14.000 Einwohnern.

Legende

 An diesem Standort befindet sich ein genehmigungspflichtiger Sender.

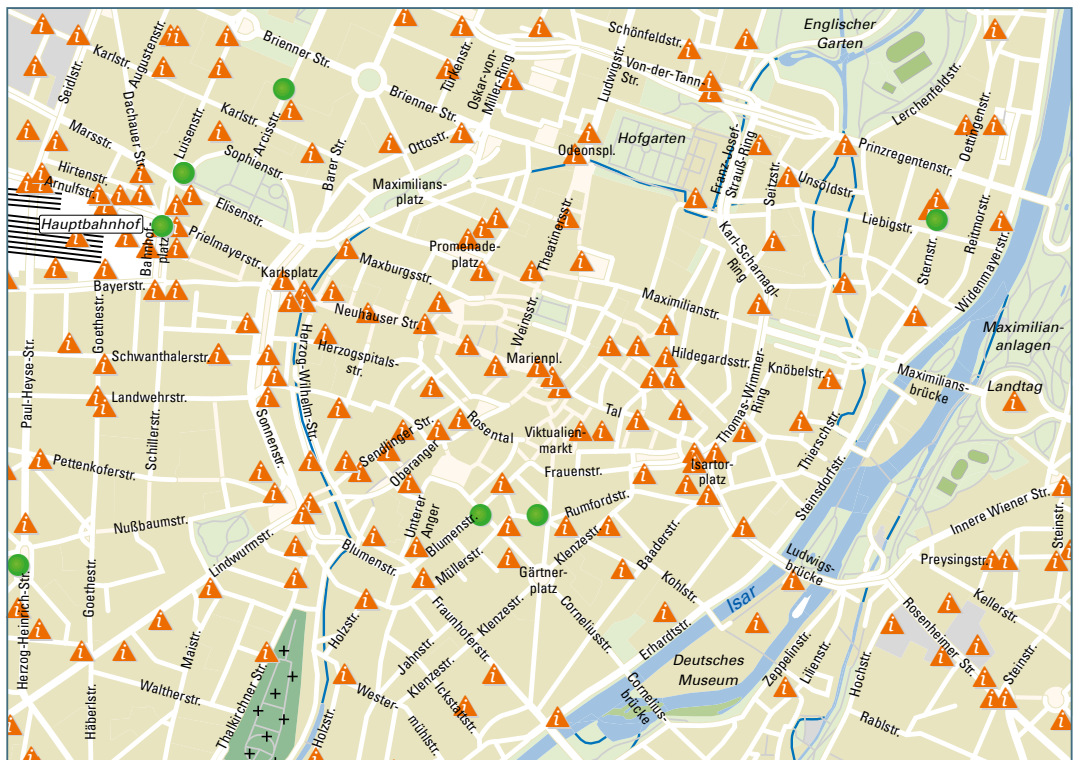
 An diesen Standort fand in der Vergangenheit eine Messung der Bundesnetzagentur statt.

Ausschnitt von Mindelheim circa 3,1 km x 2,2 km mit 9 Standorten



Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung

Ausschnitt von München circa 3,1 km x 2,2 km mit circa 176 Standorten



Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung

## Strahlung von Handys

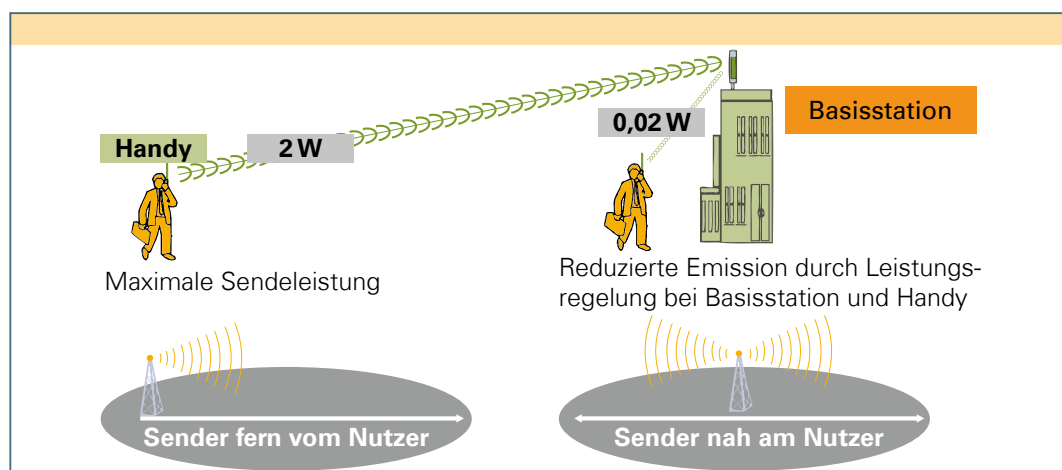
### Senden Handys immer?

Im Ruhezustand befinden sich Handys in einem reinen Empfangsmodus und senden (fast) nicht. Ein Handy, das örtlich nicht nennenswert bewegt wird (also in der gleichen Funkzelle bleibt), hat zur Anwesenheitskontrolle alle 1 bis 12 Stunden (abhängig vom Betreiber) einen kurzen Funkkontakt mit der Basisstation, der etwa 1 Sekunde dauert (periodic location update). Er ist bisweilen hörbar, wenn das Handy in der Nähe eines Lautsprechers liegt. Würde ein in Bereitschaft befindliches Handy permanent senden, wäre der Akku nach sehr kurzer Zeit leer. Wenn ein Handy über größere Strecken bewegt wird (z. B. im Auto), sendet es automatisch ein kurzes Signal, wenn es die Funkzelle wechselt und dadurch eine neue Basisstation für die Kommunikationsverbindung zuständig wird. Ein Handy befindet sich nur bei Telefongesprächen und Datenverbindungen im Dauersendebetrieb.

Beim Wechsel der Funkzelle, der regelmäßigen Anwesenheitskontrolle sowie beim Versenden oder Empfangen einer Kurzmitteilung sendet das Handy circa 1 Sekunde lang.

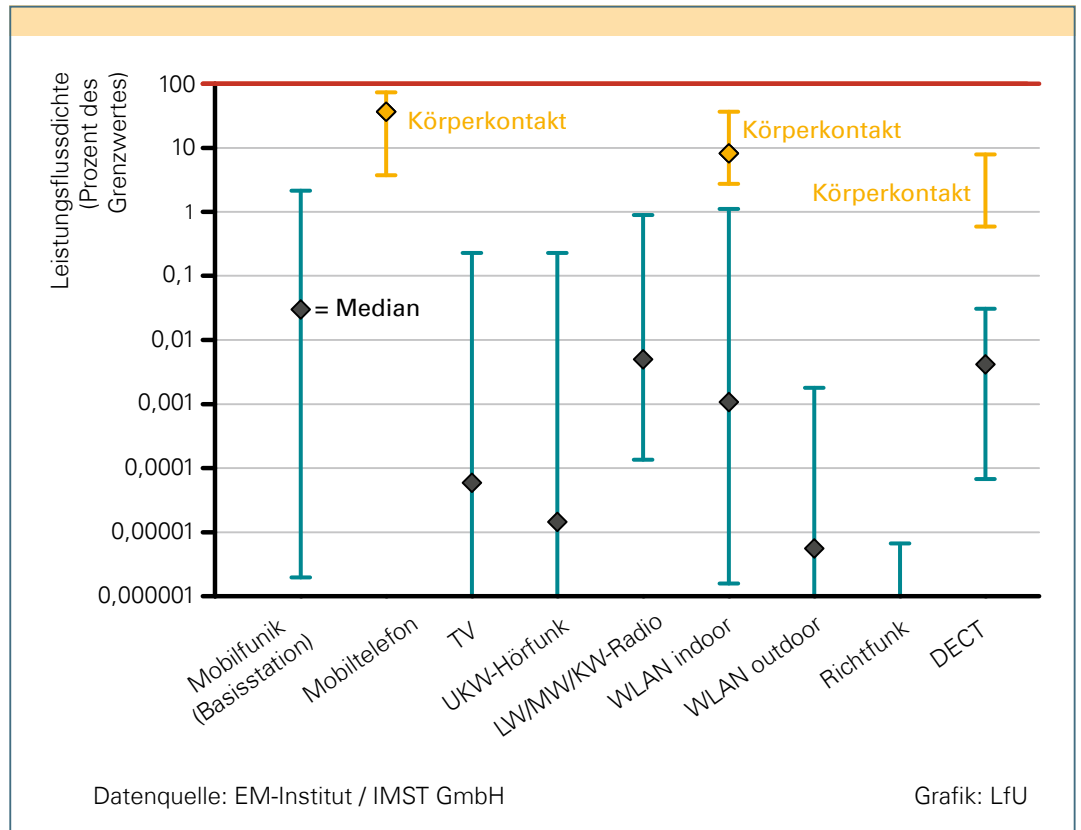
### Senden Handys immer auf maximaler Leistung?

Die Sendeleistung des Handys – und mit Einschränkungen auch die der Basisstation – ist von der Verbindungsqualität zwischen Handy und Basisstation abhängig. Das bedeutet, dass bei schlechter Verbindungsqualität eine deutlich höhere Sendeleistung erforderlich ist als bei guter Versorgung. Die Sendeleistungen von GSM-Handys betragen bei GSM-900 höchstens 2 W, bei GSM-1800 beträgt der Spitzenwert 1 W. Die maximal erreichbaren Mittelwerte bei der Sprachübertragung liegen bei etwa einem Achtel des Spitzenwertes, also bei 250 mW bzw. 125 mW. Bei gutem Empfang kann die Sendeleistung des Handys bei GSM theoretisch um den Faktor 1.000 und bei UMTS um den Faktor 100.000.000 reduziert werden (siehe Abbildung unten). Allerdings senden GSM-Handys bei jedem Gesprächsaufbau, bei jedem Funkzellenwechsel und schon bei mittelmäßigem Empfang mit voller Leistung. UMTS-Handys senden kontinuierlich mit ebenfalls höchstens 125 mW mittlerer Leistung, sie können ihre Leistung aber wesentlich effizienter reduzieren, als dies im GSM-Standard vorgesehen ist. Das UMTS-Netz würde ohne präzise Leistungsregelung der Handys, die 2.000-mal pro Sekunde vom Mobilfunknetz überprüft wird, nicht funktionieren, da die Basisstation die Datenströme der verschiedenen Handys in der Funkzelle nicht mehr trennen könnte.



*Leistungsregelung bei Basisstation und Handy: Je besser die Funkverbindung zwischen Handy und Basisstation ist, desto mehr wird die Sendeleistung reduziert.*

### Immissionsvergleich verschiedener Funkdienste



Grenzwertausschöpfung verschiedener Funkdienste im Vergleich

In der Grafik sind die Spannweiten typischer Immissionswerte gängiger Funkdienste dargestellt. Die oberste Linie (100 %) entspricht dem Ganzkörper- bzw. Teilkörpergrenzwert. Die Skala ist so gewählt, dass die Leistungsflussdichte von Zeile zu Zeile um jeweils einen Faktor 10 abnimmt. Die unterste Linie entspricht nur noch einem Hundertmillionstel des Grenzwertes. Das  $\blacklozenge$ -Symbol bezeichnet jeweils den Medianwert; die Hälfte der Messwerte liegt über diesem Wert, die andere Hälfte darunter. Körpernah betriebene Funktechnik wie das Handy oder DECT-Telefon am Ohr oder wie der Laptop mit WLAN-Sender auf den Oberschenkeln verursachen typischerweise 1.000- bis 2.500.000-fach höhere Leistungsflussdichten als die zugehörigen Basisstationen. Das ist damit zu erklären, dass der Abstand der Handyantenne zum Körper nur wenige Millimeter beträgt, während der Abstand zur Basisstation in der Regel bei mehreren Hundert Metern bis zu einigen Kilometern liegt.

## 4. Biologische Wirkung und Vorsorge

Von Handys und Mobilfunkanlagen gehen hochfrequente elektromagnetische Felder aus. Der menschliche Körper nimmt die Hochfrequenzstrahlung teilweise auf (Absorption). Ursache sind Polarisierungseffekte, Orientierungsschwingungen permanenter Dipole (z. B. Wasser), Schwingungs- und Rotationsbewegungen innerhalb von Molekülen oder Verschiebung freier Ladungsträger, durch die die Strahlungsenergie infolge von Reibungsverlusten in Wärmeenergie umgewandelt wird. Dies kann zu einer Temperaturerhöhung einzelner Körperteile oder des ganzen Körpers führen.

Wie gut die Strahlung absorbiert wird und wie tief sie in das Gewebe eindringen kann, ist unter anderem abhängig von der Frequenz der Hochfrequenzstrahlung, von der Leitfähigkeit des Gewebes, von der Größe der vorhandenen Moleküle und von der Ionenkonzentration. Hochfrequenzstrahlung ist zu energiearm um Atome oder Moleküle zu ionisieren, sie wird deswegen auch als nichtionisierende Strahlung bezeichnet.

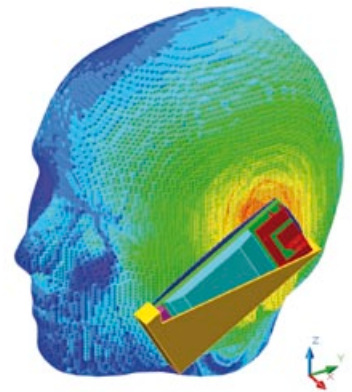
### Ganzkörpergrenzwerte (für Mobilfunkbasisstationen)

Die Strahlungsleistung, die vom Körpergewebe absorbiert wird, nennt man **Spezifische Absorptions-Rate (SAR)**. Sie wird in Watt pro Kilogramm (W/kg) angegeben. Wird die absorbierte Leistung über den ganzen Körper gemittelt, erhält man den **Ganzkörper-SAR-Wert**. Dieser wird z. B. bei Mobilfunkbasisstationen oder Rundfunksendern angewendet, da diese weit vom Körper entfernt sind und der Körper dem Feld gleichmäßig ausgesetzt ist. Die Erhöhung der Körpertemperatur ist vom Ganzkörper-SAR-Wert abhängig. Unter Normalbedingungen führen beim erwachsenen Menschen Ganzkörper-SAR-Werte von 1 bis 4 W/kg zu einer durchschnittlichen Temperaturerhöhung von weniger als 1 °C. Das deutsche Grenzwertkonzept sieht vor, dass alle Hochfrequenzsender zusammen einen Ganzkörper-SAR-Wert von 0,08 W/kg an keinem öffentlich zugänglichen Ort überschreiten. Umgerechnet in Leistungsflussdichte bedeutet dies, dass ein Wert von 2 W/m<sup>2</sup> bis maximal 10 W/m<sup>2</sup> (je nach Frequenz) in der Summe nicht überschritten werden darf.

In Deutschland sind Grenzwerte in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) festgelegt. Diese beruhen auf Grenzwerten, die von der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) und dem Rat der Europäischen Gemeinschaft empfohlen werden.

### Teilkörpergrenzwerte (für Handys)

Die festgelegten Grenzen für eine Temperaturerhöhung des gesamten Körpers im Hochfrequenzfeld gelten in gleicher Weise auch für einzelne Körperteile und Organe bei lokaler Erwärmung. Insbesondere im Nahbereich von Sendeantennen kann eine sehr ungleichmäßige Energieabsorption auftreten.



*Exposition des Menschen durch die hochfrequenten elektromagnetischen Felder eines Handys.*



Die Wärmeabfuhr am Auge ist besonders schwer möglich. Bei Handys ist die Teilkörper-SAR auf 2 W/kg begrenzt.

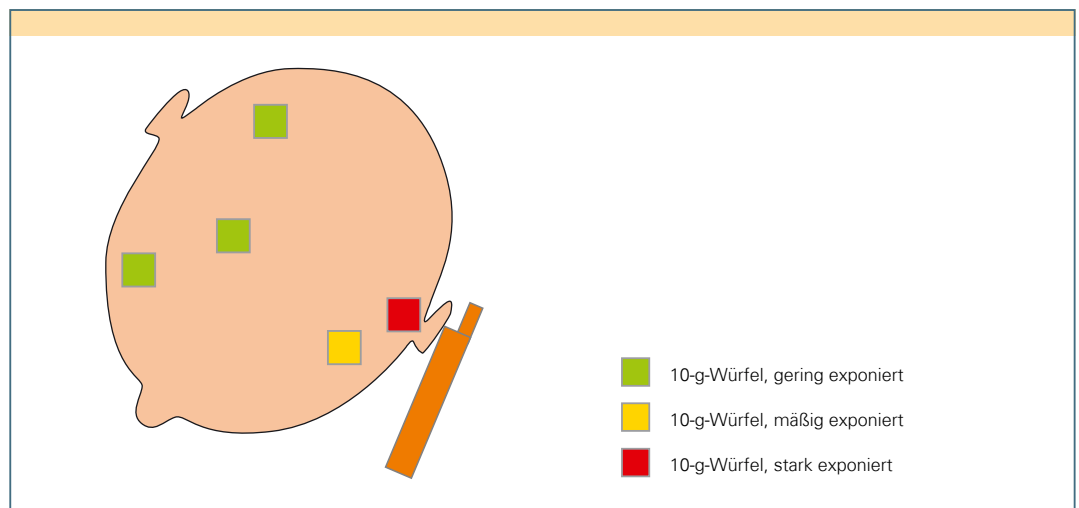
Wie in der Computersimulation auf Seite 21 gut zu sehen ist, erzeugt das Handy im Bereich des Ohres die höchste Leistungsflussdichte. Sie ist hier um Größenordnungen höher als die der Mobilfunkmasten.

Um eine übermäßige Erwärmung einzelner Körperteile (insbesondere des Auges) zu vermeiden, ist es wichtig, die absorbierte Leistung am Körper zu begrenzen und zusätzlich zu Ganzkörper-SAR-Werten eine Begrenzung durch einen Teilkörper-SAR-Wert einzuführen.

Eine übermäßige Erwärmung kann ausgeschlossen werden, wenn sich keine Stelle am Körper als Folge der Absorption um mehr als 1 °C erwärmt. Dies ist bei einem Teilkörper-SAR-Wert von 10 W/kg auch unter ungünstigen Bedingungen gegeben. Aus Vorsorgegründen wird noch ein Sicherheitsabschlag von einem Faktor 5 vorgenommen. Daraus ergibt sich insgesamt, dass nach der in Deutschland gültigen Norm die SAR eines Handys über jeweils 10 g Körpergewebe gemittelt wird und an keinem Ort den Wert von 2 W/kg überschreiten darf. Die Erwärmung des Ohrs kann bei der Handynutzung deutlich höher sein, da sich die Elektronik und der Akku des Handys beim Betrieb stark erwärmen und durch das Anpressen des Gerätes an den Kopf ein Wärmestau entsteht.

### SAR-Messung

Die Abbildung unten zeigt schematisch die Exposition im Inneren des menschlichen Kopfes. Bei der messtechnischen Bestimmung des SAR-Wertes eines Handys bei maximaler Sendeleistung muss nach dem am stärksten exponierten 10-g-Würfel gesucht werden.



Bestimmung des SAR-Wertes am Kopf.

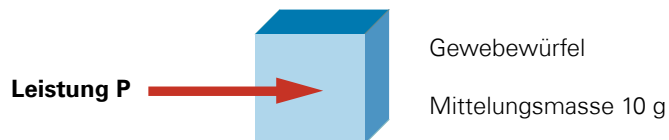


Die SAR-Messung erfolgt mit Hilfe eines sogenannten Phantomkörpers aus Kunststoff, der mit gewebeäquivalenter Flüssigkeit gefüllt ist. Ein mit maximaler Sendeleistung funktionsfähiges Handy wird in genau definiertem Winkel an den Kopf des Phantoms gehalten. Die an einem Roboterarm befestigte Messsonde zeichnet im gesamten Innenbereich des Phantoms die elektrische Feldstärke auf. Aus der höchsten gemessenen Feldstärke wird der SAR-Wert des Handys berechnet. Gemessen wird in allen Frequenzbändern, am linken und am rechten Ohr, am Kopf anliegend und zum Kopf leicht abstehend, immer mit maximaler Sendeleistung. Der höchste gemessene Wert wird bei den Handydaten angegeben.



Messung des SAR-Wertes eines Handys: Die Messsonde am Ende des gelben Roboterarms ermittelt im flüssigkeitsgefüllten Phantomkörper (weiß) den Ort der höchsten Feldstärke.

### Die Spezifische-Absorptions-Rate (SAR)



$$\text{SAR [W/kg]} = \frac{\text{im Gewebe absorbierte Leistung [W]}}{\text{Masse des Gewebes [kg]}}$$

**Die Strahlungsleistung in Watt pro Kilogramm, die vom Körpergewebe absorbiert wird, nennt man SAR (Spezifische-Absorptions-Rate)  
Einheit [W/kg]**



## Das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm DMF (2002–2008)

### Hintergrund:

Die wiederholte Bewertung aller wissenschaftlichen Arbeiten durch internationale und nationale Expertengremien und Organisationen ergab, dass es keinen Beweis für Gesundheitsgefahren hochfrequenter elektromagnetischer Felder unterhalb der in Deutschland geltenden Grenzwerte gibt. Aber es wurden auch wiederholt Studienergebnisse publiziert, die biologische Effekte unterhalb der geltenden Grenzwerte beschreiben, aus denen dann Gesundheitseffekte abgeleitet wurden. Obwohl diese Ergebnisse zum Teil nicht durch andere Forschergruppen reproduziert wurden, durch das wissenschaftliche Gesamtbild nicht gestützt werden und deren gesundheitliche Relevanz nicht geklärt ist, müssen sie doch als Hinweise gewertet werden, denen gezielt nachgegangen werden muss. Auch epidemiologische Untersuchungen, also Beobachtungsstudien am Menschen unter realen Gegebenheiten, mit deren Hilfe mögliche Zusammenhänge zwischen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und gesundheitlichen Risiken untersucht werden können, ergaben vereinzelt Hinweise auf gesundheitliche Wirkungen. Basierend auf diesen Hinweisen konstatierte die Strahlenschutzkommission (SSK) im Jahr 2001 Forschungsbedarf in Bezug auf mögliche Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf den Menschen. (Quelle BfS)

### Ergebnisse:

Das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm konnte Kenntnislücken zu tatsächlichen Expositionen und möglichen Gesundheitsrisiken der Mobilfunktechnologie schließen und hat somit zu einer deutlichen Verringerung der zu Beginn des Programms vorliegenden wissenschaftlichen Unsicherheiten geführt.

Die Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms geben insgesamt keinen Anlass, die Schutzwirkung der bestehenden Grenzwerte in Zweifel zu ziehen. Die Exposition der Bevölkerung gegenüber untersuchten Mobilfunkfrequenzen nimmt zwar ständig zu, liegt jedoch in der Regel deutlich unterhalb der geltenden Grenzwerte. Die Projekte im Bereich Dosimetrie zeigten, dass die Exposition im Alltag erheblichen zeitlichen und räumlichen Schwankungen unterliegt. Die Exposition der Bevölkerung gegenüber untersuchten Mobilfunkfrequenzen nimmt zwar ständig zu, liegt jedoch im Mittel nach wie vor viele Größenordnungen unterhalb der Grenzwerte. Nur bei Nutzung körpernaher Quellen wie z. B. Mobiltelefonen werden Werte nahe des Grenzwertes erreicht. Die an Zellkulturen durchgeführten Studien lieferten insgesamt keine Hinweise auf bisher unentdeckte Wirkungsmechanismen im „athermischen“ Bereich unterhalb der Grenzwerte.

Dies deckte sich mit Ergebnissen zu akuten Wirkungen an Versuchspersonen. Hier zeigte sich in experimentellen Studien keine Beeinträchtigung des Schlafes, der kognitiven Leistungsfähigkeit, des Gedächtnisses oder der Verarbeitung von visuellen oder akustischen Reizen. Auch in epidemiologischen Studien konnte kein Zusammenhang zwischen den gemessenen Feldern von Basisstationen und Schlafstörungen, Kopfschmerzen, gesundheitlichen Beschwerden allgemein sowie psychischer oder körperlicher Lebensqualität nachgewiesen werden. Dies gilt auch für elektrosensible Personen, bei denen ein Zusammenhang von tatsächlicher Feldexposition und einer Vielzahl von Symptomen nicht bestätigt werden konnte.

Um mögliche Langzeitwirkungen wiederholter oder chronischer Exposition zu untersuchen, wurden tierexperimentelle Mehrgenerationsstudien durchgeführt, die keine Hinweise

auf negative Einflüsse von Mobilfunkfeldern – weder GSM noch UMTS – lieferten. Untersucht wurde eine Vielzahl von Endpunkten, u. a. die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke, verschiedene Krebserkrankungen, Tinnitus, Lernen und Gedächtnis, Stressantwort und Immunparameter, Fortpflanzung und Entwicklung. Auch epidemiologische Studien konnten bisher für Mobilfunknutzer zumindest bis zu einer Nutzungsdauer von zehn Jahren kein erhöhtes Risiko für eine Hirn- oder Augentumorerkrankung finden. Es zeigte sich auch kein Zusammenhang zwischen der berechneten Feldstärke um vergleichsweise leistungsstarke Radio- und Fernsehsender und einem erhöhten Risiko für Kinderleukämie. Auf einige Fragen konnte das Programm aber keine abschließenden Antworten geben.

Die Datenlage für mögliche Gesundheitsrisiken bei Handynutzung länger als zehn Jahre ist nicht ausreichend, um heute abschließend beantwortet werden zu können. Dies liegt daran, dass die Mobilfunktechnologie vergleichsweise jung ist und Hirntumore eine lange Latenzzeit haben, sodass die Zahl von Handynutzern, die ihr Mobiltelefon länger als zehn Jahre nutzen, zu gering ist, um statistisch belastbare Daten zu liefern. Auch die Frage, ob Kinder stärker exponiert oder auch empfindlicher gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern als Erwachsene sein könnten, bleibt derzeit noch offen. Zwar wurden im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms zahlreiche denkbare Studiendesigns verfolgt, dennoch ist die heutige Datenlage nicht ausreichend, um die Frage abschließend beantworten zu können. Aus diesem Grund ist es weiterhin empfehlenswert, die Grenzwertregelung durch geeignete Vorsorgemaßnahmen zu ergänzen. Dies kann durch unterschiedliche Maßnahmen erfolgen:

- Vorsorgliche Minimierung der Exposition: Beim Betrieb der bestehenden und der Entwicklung neuer drahtloser Kommunikationstechnologien ist weiterhin auf eine Optimierung im Sinne des Strahlenschutzes zu achten. Im privaten Bereich kann die Wahl und Handhabung der relativ stärksten Quellen die individuelle Exposition erheblich verringern. Hierzu gehört u. a. das Handy selbst, aber ggf. auch DECT-Basisstationen und Babyphone, die im häuslichen Bereich einen wesentlichen Anteil an der Gesamtexposition bilden können und zu denen technische Alternativen vorliegen.
- Gezielte Forschungsansätze: Die verbleibenden wissenschaftlichen Unsicherheiten müssen durch gezielte Forschung weiter eingegrenzt werden, insbesondere zu Wirkungen auf Kinder und zu Langzeitwirkungen auf die Bevölkerung. (Quelle BfS)

### Aktuelle Einschätzungen (Stand 2011)

Die Internationale Krebsforschungsagentur (IARC) der Weltgesundheitsorganisation hat hochfrequente elektromagnetische Felder nach vereinzelt Hinweisen aus epidemiologischen Beobachtungen an Langzeit-Handynutzern am 31.05.2011 in Gruppe 2B der IARC-Skala, d. h. als „möglicherweise krebserregend“ eingestuft. Diese Einordnung bedeutet, dass es gemäß Einschätzung der IARC nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand begrenzte Hinweise auf eine krebserregende Wirkung dieser Felder auf den Menschen gibt. Die weit überwiegende Zahl der epidemiologischen wie auch der durchgeführten tierexperimentellen Studien spricht allerdings nicht für krebserregende Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder.

Nach Ansicht der Bundesregierung haben die derzeit vorliegenden wissenschaftlichen Studien keine belastbaren Ergebnisse erbracht, dass unterhalb der Grenzwerte eine gesundheitliche Gefährdung für die Bevölkerung bestehe. Sie werde auf Grundlage aller neuen wissenschaftlichen Arbeiten und der Stellungnahmen der verschiedenen wissenschaftlichen Gremien eine aktualisierte Bewertung vornehmen und dabei auch die IARC Einstufung einbeziehen. (Drucksache 17/6709 vom 29.07.2011 des Deutschen Bundestags).

## 5. Messungen am SAR-Messkopf

Handy-Hersteller müssen den SAR-Wert wie oben beschrieben in einem normierten Verfahren an einem professionellen Messplatz bestimmen. Dieses Verfahren ist zeitaufwendig, kostspielig und kann nur bei konstanter Sendeleistung in einem geschirmten Messraum durchgeführt werden.

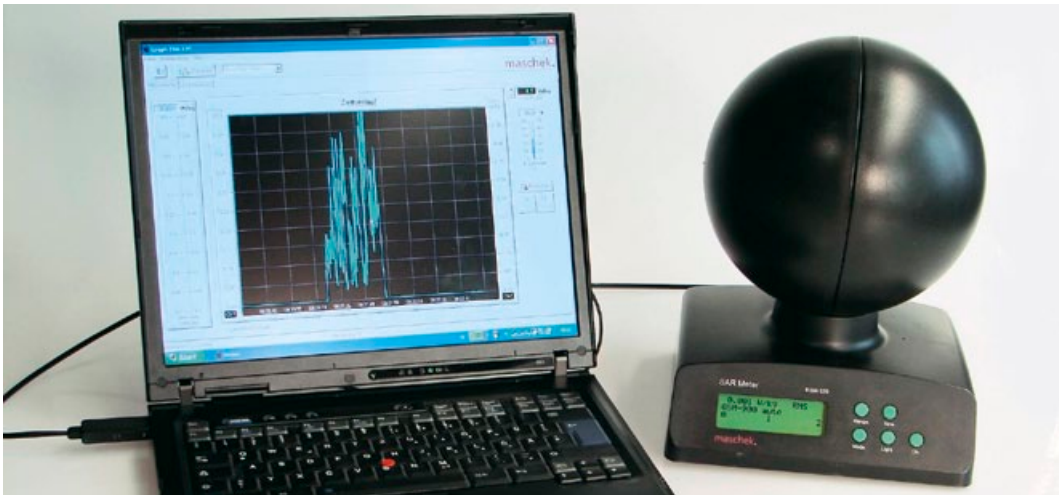
Um SAR-Messungen zu Anschauungszwecken auch in Schulen möglich zu machen, hat das Bayerische Landesamt für Umwelt zusammen mit einer Elektronikfirma einen SAR-Messkopf entwickelt, mit dem SAR-Messungen in Echtzeit und auf kleinem Raum möglich sind.

Die Feldsonde wurde dazu nicht an einem Roboterarm befestigt, sondern befindet sich im Innern einer flüssigkeitsgefüllten Kugel, die einen menschlichen Kopf simuliert. Der Sensor ist im Inneren der Kugel fest montiert. Wird ein Handy seitlich an den Sensor gehalten, kann die Echtzeit-SAR direkt an der Anzeige abgelesen werden.



Ein Handy wird an den Sensor des SAR-Messkopfes gehalten.

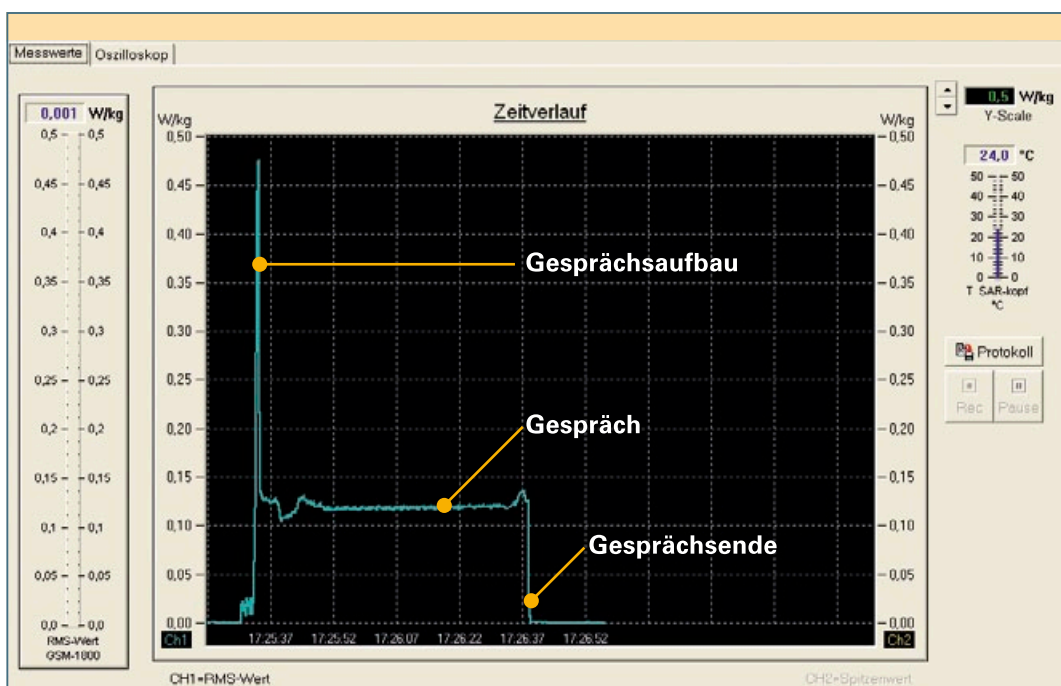
Handelsübliche Handys haben typischerweise je nach Modell SAR-Werte von 0,3 bis 1,6 W/kg. Der Grenzwert beträgt 2 W/kg. Dieser Wert kann bei schlechtem Mobilfunkempfang von manchen Handys auch erreicht werden, meist aber nur kurzzeitig. Bei günstigen Netzbedingungen wird die Sendeleistung stark reduziert und der SAR-Echtzeitwert ist dann um Größenordnungen kleiner als der Maximalwert. Der zeitliche Verlauf der Echtzeitmessung kann am Bildschirm des Messlaptops beobachtet werden.



Anzeige der Echtzeit-SAR am Messlaptop

Am SAR-Messkopf können folgende Beobachtungen gemacht werden:

- Handys strahlen im Bereitschaftsbetrieb nicht.
- Beim Verbindungsaufbau steigt die Echtzeit-SAR von GSM-Handys zunächst auf einen maximalen Wert an und fällt dann auf einen niedrigeren Wert ab. Beim Gesprächsende geht die Echtzeit-SAR wieder auf Null zurück.
- Mit einer Freisprecheinrichtung (Lautsprecher) oder einem Headset kann die Strahlung am Ohr um Größenordnungen gesenkt werden.
- Durch Bewegen des Handys vor dem Sensor können verschiedene Abstrahlbereiche untersucht werden (Rückseite, Tastatur, Antenne ...).
- Bei Netzverfügbarkeit kann der Verbindungsaufbau im UMTS-Netz untersucht werden.
- Mithilfe eines Rollwagens kann mit dem SAR-Messkopf auch an unterschiedlichen Orten gemessen werden (z. B. im Keller, im Freien, in der Tiefgarage).
- Je nach Handymodell, Empfangsqualität und Netzart (GSM, UMTS, LTE) kann die Echtzeit-SAR am gleichen Messort sehr unterschiedlich sein.



Echtzeit-SAR während eines Gesprächs am GSM-Handy

## 6. Wie man die Strahlung beim Telefonieren verringern kann

### Keine Strahlung im Stand-by

Das betriebsbereite Handy kann deshalb in der Regel problemlos am Körper getragen werden, ohne zusätzlicher Strahlung ausgesetzt zu sein. Empfangsbereite Handys senden nur in sehr großen Zeitabständen (siehe Abschnitt 3). Eine Ausnahme bilden Auto- oder Bahnfahrten wegen der häufigen Funkzellenwechsel und Smartphones mit aktivierten Datendiensten wie z. B. Abfrage des E-Mail-Kontos alle paar Minuten.



Viele Balken sind ein Muss beim längeren Telefonat.

### Der beste Empfang ist die beste Vorsorge

In Kellern und Tiefgaragen ist Telefonieren prinzipiell möglich. Dort gibt es in der Regel aber nur einen schlechten Empfang und das Handy sendet auf der höchsten Leistungsstufe. Je besser die Basisstation empfangen wird, desto mehr kann das Handy beim Telefonieren seine Sendeleistung reduzieren. Nahe am Fenster oder im Freien haben Handys meist den besten Empfang. Dabei gibt es sogar noch positive Nebeneffekte: Die Verbindungsqualität wird häufig besser und die Akkulaufzeit länger. Die Empfangsqualität kann an der Balkenanzeige abgelesen werden:

Balkenanzeige am Handy-Display	Empfangsqualität	SAR-Wert (Energieabsorption im Kopf)
keine Anzeige	sehr schlecht	kein Sendebetrieb, keine Strahlung
I >	mäßig	max. bis 2 W/kg (je nach Handytyp)
II, III >>, >>>	gut	mittel 0,3 bis 1,0 W/kg
IIII, IIIII >>>>, >>>>>	sehr gut	gering 0,01 bis 0,3 W/kg

Bevor man sich auf einen Netzbetreiber festlegt, sollte unbedingt die Netzqualität an den Orten getestet werden, an denen man sich regelmäßig aufhält. Dies geht am einfachsten mit Handys von Freunden und Bekannten oder Prepaidkarten.



Ist ein Handy im UMTS-Netz eingebucht, so wird dies im Display durch ein 3G-Symbol gekennzeichnet.

### UMTS-Handy kaufen, UMTS-Netze nutzen

UMTS-Handys erzeugen beim Telefonieren im UMTS-Netz weitaus geringere SAR-Werte als herkömmliche GSM-Handys.

## Handyantenne nicht Abdecken

Das Handy sollte so gehalten werden, dass die Antenne nicht mit den Fingern abgedeckt wird. Die integrierte Antenne liegt meistens oben, in einigen Fällen auch am unteren Ende des Handys oder im Rahmen.



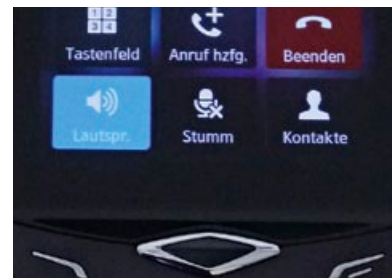
*Bild links:  
Hier „liegt die Antenne frei“. Somit sind der bestmögliche Empfang und die geringstmögliche Strahlenbelastung gewährleistet.*

*Bild rechts:  
Finger weg von der Antenne!  
(bei den meisten Handys befindet sie sich am oberen Ende)*

Gerade in Notfallsituationen kann bei schlechtem Mobilfunkempfang durch Freihalten der Handyantenne doch noch eine Verbindung zum Rettungsdienst aufgebaut werden. Bei unklarer Antennenposition hilft nur ausprobieren.

## Headset oder Freisprecheinrichtung verwenden

Ein Kabel- oder Funk-Headset (Bluetooth) verringert die vom Kopf absorbierte Strahlungsleistung um bis zu 90 %. Die Sendeleistung von Bluetooth-Headsets ist etwa 1.000-fach geringer als die des Handys. Alternativ kann die Freisprecheinrichtung des Handys verwendet werden, auch hier muss das Handy nicht am Ohr gehalten werden. Handys sind heute durchweg mit einer Lautsprecherfunktion ausgestattet.



Lautsprecherfunktion

## Beim Handykauf auf niedrigen SAR-Wert achten

Wer Wert auf geringe Immissionen legt, sollte sich vor dem Kauf über SAR-Wert bzw. Strahlungsfaktor informieren (z. B. in der Bedienungsanleitung, im Internet, im Handyshop). Der SAR-Wert darf bis zu 2 Watt pro Kilogramm Körpergewebe (W/kg) betragen. Handys mit einer SAR von weniger als 0,6 W/kg dürfen das Umweltzeichen „blauer Engel“ verwenden. Dieses Kriterium erfüllen etwa 25 % der heute erhältlichen Geräte. Klapphandys haben in der Regel geringe SAR-Werte, da die Antenne vom Kopf weiter entfernt ist. Viele Handys haben die Antenne auf der Geräteunterseite, auch dies führt zu geringeren SAR-Werten. Das Bundesamt für Strahlenschutz ([www.bfs.de](http://www.bfs.de)) führt eine Liste mit Handy-SAR-Werten.



Bluetooth-Headset

## 7. Strahlenfänger, Antismog-Chips, EMF-Fallen & Co.

Vom Handel werden Produkte angeboten, die vor Handystrahlen schützen oder auch nur „poppige Effekte“ erzeugen sollen. Beispiele:

- Bunte metallisierte Handyschalen mit „Abschirmwirkung“,
- blinkende Aufkleber,
- Antismog-Chips usw.



Antismog-Chips am Handyakku.

### Dabei muss man wissen:

Bei Begriffen wie „Elektrosmogfalle“, „Strahlenfänger“, Änderung der Welle in eine „positive Drehrichtung“, „Ableitung negativer Energien“ vom Körper, „Antismog-Chip“, „Ausgleich der feinstofflichen Schwingungsebenen“, „Löschung pathogener Informationsschwingungen“ usw. ist ein gesundes Misstrauen angebracht. Diese Produkte **kosten viel Geld** (teilweise über 100 €), während sie z. B. bei Montage am Handyakku **weder eine physikalisch messbare noch eine wissenschaftlich nachweisbare Wirkung** haben.

Von einem Abkleben oder Abdecken der Handyantenne ist aber **grundsätzlich abzuraten**. Hierdurch können sich die Sende- und Empfangseigenschaften des Handys deutlich verschlechtern. Da Handys dann auf einer höheren Leistungsstufe senden, kann die Strahlung am Kopf sogar höher werden. Ein mangelhafter Handyempfang kann in einem Notfall lebensgefährlich sein.

Ausgenommen Headset und Freisprecheinrichtung ist bis jetzt kein Zubehör bekannt, das die Strahlung am Kopf bei gleichbleibender Sende- und Empfangsqualität verringert.



## 8. Handyverbote

- Im **Schulgebäude** und auf dem **Schulgelände** sind Mobilfunktelefone abzuschalten. Das bayerische Erziehungs- und Unterrichtsgesetz schreibt in Artikel 56 Absatz 5 vor, dass Mobiltelefone und sonstige digitale Speichermedien, die nicht zu Unterrichtszwecken verwendet werden, auszuschalten sind. Die unterrichtende oder Aufsichtführende Lehrkraft kann Ausnahmen gestatten. Bei Zuwiderhandlung kann das Mobilfunktelefon vorübergehend einbehalten werden.  
Bei Prüfungen kann das Mitführen eines ausgeschalteten Handys als Unterschleif mit Note 6 gewertet werden (Gymnasialschulordnung Paragraph 58 Absatz 2). Ein Handy hat bei jeder Prüfung in der Schultasche zu sein. Verboten ist es, wenn es auf oder unter der Bank ist bzw. sich am Körper des Schülers befindet. Bei einem evtl. Austreten hätte er es nämlich dabei.
- Dem **Autofahrer** ist Telefonieren während der Fahrt nur mit Freisprecheinrichtung erlaubt. Handysündern droht ein Bußgeld von 40 € sowie ein Punkt in Flensburg. Die Straßenverkehrsordnung schreibt dazu in Paragraph 23 Absatz 1a Folgendes vor: "Dem Fahrzeugführer ist die Benutzung eines Mobil- oder Autotelefonos untersagt, wenn er hierfür das Mobiltelefon oder den Hörer des Autotelefonos aufnimmt oder hält. Dies gilt nicht, wenn das Fahrzeug steht und bei Kraftfahrzeugen der Motor ausgeschaltet ist." Generell empfiehlt es sich zum Telefonieren anzuhalten, da Telefonate oft viel Aufmerksamkeit erfordern, die dann für den Straßenverkehr fehlt. Beifahrer dürfen ohne Beschränkung telefonieren.
- Auch **Radfahrer** sind Fahrzeugführer, daher gilt: Telefonieren ist während der Fahrt verboten. Handysündern droht ein Bußgeld in Höhe von 25 €. Ebenso wie beim Autofahren ist auch auf dem Rad das Telefonieren nur mit Freisprechanlage zulässig. Musikhören mit eingebauten MP3-Playern und Telefonieren kann gefährlich sein, da man abgelenkt ist und z. B. herannahende Fahrzeuge nicht mehr wahrnimmt.
- Auch **Fußgänger** sind gefährdete Verkehrsteilnehmer. Internet, E-Mail, Telefonate und SMS können vom Straßenverkehr und der Umgebung ablenken. Viele SMS-Fans haben sich schon verletzt, indem sie beim Schreiben gegen Autos, Mülltonnen und Laternenpfosten gelaufen sind. In Großbritannien heißen solche Verletzungen „walk and text injury“.
- An Bord eines **Flugzeuges** müssen Handys bei vielen Fluggesellschaften während des gesamten Fluges oder nur während des Start- und Landevorganges ausgeschaltet werden. Manche Fluglinien lassen die Nutzung von Mobiltelefonen zu, wenn das Flugzeug dafür speziell ausgerüstet ist. Die Gesprächsgebühren liegen für solche satellitenvermittelten Telefonate dann allerdings bei bis zu 10 US\$ pro Minute.



### Das Handy als Lebensretter

Mit der Notrufnummer 112 kann mit dem Handy Hilfe angefordert werden – vorausgesetzt es ist eine Netzverbindung vorhanden. Notrufe werden von allen am Standort verfügbaren Mobilfunknetzen vermittelt und zwar unabhängig davon, bei welchem man selbst Kunde ist. Die Nummer des Euronotrufes 112 gilt in allen Ländern der EU.

Ein im Netz eingebuchtes Handy kann in Notfällen geortet werden. Dies ist allerdings nur mit Einschaltung der Polizei möglich. Vermisste (z. B. Bergsteiger) können mit Hilfe der Mobilfunkbasisstationen bis auf circa 200 Meter genau lokalisiert werden.



## Anhang:

### Abkürzungen und Erläuterungen

A	Ampere → Elektrischer Strom
Absorption	Aufnahme von Strahlungsenergie und Umwandlung in Wärme
Amplitude	Maximalwert einer periodischen Schwingung
Athermische Effekte	Effekte, die nicht mit einer Erwärmung des Gewebes einhergehen
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung; die 26. BImSchV ist die Verordnung über elektromagnetische Felder
Bluetooth	Übertragungsstandard für die Vernetzung von Geräten per Funk
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications (Digitale, verbesserte schnurlose Telekommunikation), Übertragungsstandard für schnurlose Telefone
DMF	Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm, 2002-2008
DSL	Digital Subscriber Line (engl. für Digitaler Teilnehmeranschluss), Digitaler Übertragungsstandard zur Kommunikation zwischen DSL-Modem und DSLAM, um einen Breitband-Internetzugang über einfache Kupferleitungen zur Verfügung zu stellen
E	→ Elektrische Feldstärke
Elektrisches Feld	Elektrischer Zustand des Raumes, der von ruhenden (elektrostatistisches Feld) oder bewegten elektrischen Ladungen und zeitlich veränderlichen magnetischen Feldern (elektromagnetisches Feld) erzeugt wird
Elektrische Feldstärke	Maß für die Stärke des elektrischen Feldes; Einheit Volt pro Meter (V/m)
Elektrische Ladung	Eigenschaft materieller Teilchen (Ladungsträger), Ursache elektrischer Felder und der elektromagnetischen Wechselwirkung. Es gibt positive und negative elektrische Ladungen; Einheit Coulomb (C)
Elektrische Spannung	Maß für die Arbeit, die erforderlich ist, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Punkt zum anderen zu bringen, dividiert durch die Ladung, Einheit Volt (V)
Elektrischer Strom	Bewegte elektrische Ladungen; Einheit Ampere (A)
Elektrosmog	Sammelbezeichnung für unerwünschte Abstrahlungen technisch erzeugter elektrischer und magnetischer Felder: Der Begriff Smog setzt sich aus den englischen Wörtern smoke (Rauch) und fog (Nebel) zusammen und steht für eine Belastung der Umwelt
EMF	Elektromagnetisches Feld, elektromagnetische Felder
Emission	Aussendung, Austrag. Hier: Summe aller Felder, die von einer Antenne ausgehen
Epidemiologische Studie	Untersuchung oder Befragung die mit größeren Gruppen der Bevölkerung durchgeführt wird, um unbekannt Zusammenhänge zwischen Ursache und Verbreitung von Krankheiten zu ermitteln; die häufigsten Typen sind die Fall-Kontroll-Studie und die Kohortenstudie
Fernfeld	Strahlungsfeld in großer Entfernung von der Quelle
Frequenz	Anzahl der Schwingungen pro Sekunde; Einheit Hertz (Hz)

GSM	Weltweit verbreiteter Standard für den digitalen Mobilfunk. In Europa liegen die verwendeten Frequenzen um 900 MHz (GSM-900) und um 1800 MHz (GSM-1800), in den USA u. a. bei 1900 MHz (GSM-1900)
H	→ Magnetische Feldstärke
HSPA	High Speed Packet Access ist eine Weiterentwicklung von UMTS, die höhere Übertragungsraten ermöglicht. Sie gliedert sich in HSDPA zur Beschleunigung des Downlinks und HSUPA für den Uplink
Hz	Hertz, Einheit der Frequenz
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung), Oberschleißheim; unabhängige Vereinigung von Wissenschaftlern zur Erforschung der Auswirkung nichtionisierender Strahlung auf die menschliche Gesundheit
Immission	Einwirkung, Eintrag. Hier: Feld oder Summe aller Felder, die auf die Umwelt oder den Menschen einwirken
ionisierend	Ionisierende Strahlung bezeichnet Teilchenstrahlung oder elektromagnetische Strahlung, die aus Atomen oder Molekülen Elektronen entfernen kann, so dass positiv geladene Ionen oder Molekülreste zurückbleiben (Ionisation); ionisierende Strahlung geht u. a. von radioaktiven Stoffen aus und ist gesundheitsschädlich
Kohortenstudie	Untersuchung, in der eine Gruppe von Personen (Kohorte) mit bekannten Expositionsbedingungen über längere Zeit beobachtet wird. Dabei wird versucht, die verschiedenen Expositionen mit dem Auftreten von Krankheiten in Verbindung zu bringen
KW	Kurzwellen: Dekameterwellen (10 bis 100 m bzw. 3 bis 30 MHz)
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt; das LfU ist eine Behörde im Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit
LGL	Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit; das LGL ist eine Behörde im Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit
LW	Langwellen: Kilometerwellen (1 bis 10 km bzw. 30 bis 300 kHz)
Latenzzeit	Zeit zwischen Reiz und Wirkung
Leistung	Pro Zeit verrichtete Arbeit oder aufgewandte Energie; Einheit Watt (W)
Leistungsflussdichte	Maß für die Stärke einer hochfrequenten Strahlung; Einheit Watt pro Quadratmeter (W/m <sup>2</sup> )
Leukämie	Krebs der weißen Blutzellen, Ursachen weitgehend unbekannt. Inzidenzhäufigkeit jährlich 40 bis 50 Fälle je 1 Million Einwohner; es gibt mehrere Typen mit unterschiedlichem Krankheitsverlauf und unterschiedlicher Heilungswahrscheinlichkeit
LTE	Long Term Evolution (LTE) ist ein Übertragungsstandard für Mobilfunk und die nach UMTS nächste Mobilfunkgeneration (4G) LTE erlaubt eine besonders effiziente Datenübertragung; die verwendeten Frequenzen liegen zwischen 800 MHz (LTE-800) und 2.600 MHz (LTE-2600)

Magn. Feldstärke	Maß für die Stärke eines Magnetfeldes; Einheit Ampere pro Meter (A/m)
Magn. Flussdichte MW	Maß für den magnetischen Fluss pro Fläche; Einheit Tesla (T) Mittelwellen: Hektometerwellen (100 bis 1.000 m bzw. 0,3 bis 3 MHz)
Modulation	Änderung einer hochfrequenten Trägerwelle zur Übertragung von Informationen; es gibt Amplituden-, Frequenz- und Phasen- modulation
Nichtionisierend	Im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung kann die nichtioni- sierende Strahlung aufgrund ihres geringen Energiegehalts Molekularbindungen nicht zerstören; die Absorption nichtioni- sierender Felder wird mit Hilfe des SAR-Wertes bestimmt
S	→ Leistungsflussdichte
SAR	Spezifische-Absorptions-Rate, beschreibt, wie viel Leistung pro Kilogramm Körpergewicht (bzw. biologischem Material) absor- biert wird (in W/kg), wenn der Körper hochfrequenter Strahlung ausgesetzt ist; Grenzwerte in Deutschland: Ganzkörper 0,08 W/kg; Teilkörper 2 W/kg, gemittelt über 10 g Körpergewebe
Sendeleistung	Abgestrahlte elektrische Leistung einer Antenne; Einheit Watt (W)
SSK	Strahlenschutzkommission; Deutsches Wissenschaftsgremium, berät das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) in Fragen des Schutzes vor den Gefah- ren ionisierender und nichtionisierender Strahlen.
StMUG	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit
T	Tesla → Magnetische Flussdichte
TETRA	TETRA (terrestrial trunked radio) ist ein digitaler Mobilfunkstan- dard; mit TETRA kann der gesamte betriebliche Mobilfunk von Anwendern wie Behörden, Industrie- oder auch Nahverkehrsbe- trieben abgewickelt werden
UKW	Ultrakurzwellen: Meterwellen (1 bis 10 m bzw. 30 bis 300 MHz)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, Übertragungs- standard für Mobilfunk und die nach GSM nächste Mobilfunkge- neration (3G). UMTS erlaubt eine schnellere Datenübertragung, die verwendeten Downlinkfrequenzen liegen in Deutschland um 2.100 MHz (UMTS-2100); im europäischen Ausland gibt es ver- einzelt bereits UMTS-900 Netze
V	Volt → Elektrische Spannung
VoIP	Voice over Internet Protocol, digitaler Telefondienst über eine Internetverbindung
W	Watt → Leistung
Wellenlänge	Räumlicher Abstand zwischen zwei Wellentälern oder zwei Wellenbergen einer Welle, kleinster Abstand zweier Punkte gleicher Phase einer Welle
WLAN	Wireless Local Area Network, funkgestütztes lokales Netzwerk

## Literatur und Internetadressen

### Thema Mobilfunk im Unterricht:

Bayerisches Landesamt für Umwelt [www.mobilfunkundschule.bayern.de](http://www.mobilfunkundschule.bayern.de)

### Informationen zu elektromagnetischen Feldern und Mobilfunkstrahlung:

Publikationsshop des bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit

[www.bestellen.bayern.de](http://www.bestellen.bayern.de) → Elektromog

→ Broschüre "Elektromagnetische Felder im Alltag"

→ Infoblatt "Internet über Funk"

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit

[www.stmug.bayern.de](http://www.stmug.bayern.de) → Umwelt → Strahlenschutz

Bayerisches Landesamt für Umwelt

[www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de) → Strahlung → elektromagnetische Felder

Informationszentrum Mobilfunk [www.izmf.de](http://www.izmf.de)

Private Informationsseite zum Thema Elektromog [www.elektromoginfo.de](http://www.elektromoginfo.de)

### Informationen zu Grenzwerten, Forschung und Studien:

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit

[www.lgl.bayern.de](http://www.lgl.bayern.de) → Publikationen → Umweltmedizin

Bundesamt für Strahlenschutz [www.bfs.de](http://www.bfs.de) → elektromagnetische Felder

Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF)

[www.bfs.de](http://www.bfs.de) → elektromagnetische Felder → DMF

→ Flyer "Zum Schutz der Menschen: Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm"

→ Broschüre "Das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm - Ein wichtiger Beitrag zur transparenten Wissenschaft und zu offenen Fragen des Strahlenschutzes"

→ Abschlussbericht "Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms"

Arbeitsgruppe "EMF und Umwelt" am WIK Institut [www.wik-emf.org](http://www.wik-emf.org)

→ EMF-Brief (wöchentlich)

→ EMF-Spektrum (vierteljährlich)

Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung [www.icnirp.de](http://www.icnirp.de)

Weltgesundheitsorganisation WHO [www.who.int/peh-emf/en](http://www.who.int/peh-emf/en)

### Kontaktinformationen:

Internet: [www.mobilfunkundschule.bayern.de](http://www.mobilfunkundschule.bayern.de)  
EMF-Infoline: 0821 9071-3518  
E-Mail: [emf@lfu.bayern.de](mailto:emf@lfu.bayern.de)

### Ansprechpartner:

Herr Dr. Thomas Kurz (Projektleitung)	Bayerisches Landesamt für Umwelt
Tel. 09281 1800-4688	Hans-Högn-Straße 12
<a href="mailto:thomas.kurz@lfu.bayern.de">thomas.kurz@lfu.bayern.de</a>	95030 Hof

Herr Georg Eberle	Bayerisches Landesamt für Umwelt
Tel. 0821 9071-5017	Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
<a href="mailto:georg.eberle@lfu.bayern.de">georg.eberle@lfu.bayern.de</a>	86179 Augsburg



