

GSM

Reinhold Wehner

Ende der 80er Jahre entschied in Deutschland der damalige Postminister Schwarz-Schilling, dass neben der Deutschen Telekom (heute T-Mobile) ein privater Anbieter eine GSM-Lizenz erhalten solle. Diese zweite Lizenz ging 1989 an den Mannesmann-Konzern (heute Vodafone). Der Regelbetrieb der im 900-MHz-Bereich arbeitenden D1- und D2-Netze (GSM 900) begann 1992.

Im Jahre 1993 vergab der nachfolgende Postminister Bötsch die Lizenz für ein im 1800-MHz-Bereich arbeitendes drittes GSM-Mobilfunknetz E1 an den Betreiber E-Plus. 1997 folgte als zweiter E-Netz-Betreiber Viag Interkom (heute O₂). Mittlerweile verfügen auch T-Mobile und Vodafone über 1800-MHz-GSM-Frequenzen, wie auch E-Plus und O₂ kürzlich Frequenzen im 900-MHz-Bereich erhalten haben.

Ende 2006 gab es in Deutschland über 83 Mio. GSM-Teilnehmer [8], die von mehr als 60.000 Basisstationen versorgt werden. Weltweit befinden sich heute in mehr als 200 Ländern GSM Systeme im Einsatz [5].

Systemarchitektur

Wie das ehemalige deutsche C-Netz stellt auch GSM einen zellularen Standard dar mit Makro-, Mikro-, Pico- und Schirmzellen mit Radien von einigen hundert Metern bis zu 35 km (GSM 900) bzw. 10 km (GSM 1800). GSM verwendet das Frequenz-Duplex-Verfahren (FDD). Die in Deutschland zugewiesenen Frequenzen liegen für GSM 900 im Uplink zwischen 880 MHz und 914,8 MHz und im Downlink zwischen 925 MHz und 959,8 MHz, entsprechend einem Duplex-Abstand von 45 MHz. Hier haben T-Mobile und Vodafone jeweils etwa 12-MHz-Bandbreite und E-Plus sowie O₂ jeweils 5 MHz-breite Bänder zur Verfügung. Der GSM-1800-Bereich umfasst 1710 MHz bis 1785 MHz (Uplink) und 1805 MHz bis 1880 MHz (Downlink), der Duplex-Abstand beträgt 95 MHz. In diesem Band verfügen E-Plus und O₂ über je etwa 22,5 MHz, T-Mobile und Vodafone dürfen jeweils etwa 5 MHz nutzen.

System	Frequenzen	Einsatz
GSM-900: Global System for Mobile Communications	880 - 915 MHz (Uplink) 925 - 960 MHz (Downlink) Kanalbandbreite: 200 kHz Kanalraster: 200 kHz	D-Netze (zivil) in Deutschland
DCS-1800: Digital Communication System	1710 - 1785 MHz (Uplink) 1805 - 1880 MHz (Downlink) Kanalbandbreite: 200 kHz Kanalraster: 200 kHz	E-Netze (zivil) in Deutschland *)
PCS-1900: Personal Communication System	1850 - 1910 MHz (Uplink) 1930 - 1990 MHz (Downlink)	Netze in den USA

Tabelle 1: GSM-Systeme und Frequenzbereiche

*) Anmerkung: Ende 2005 (befristet bis 31.12.2016) öffnete die zuständige Regulierungsbehörde die Frequenzbereiche 880-890 MHz und 925-935 MHz für den E-GSM-Mobilfunk (Teilverlagerung (Migration)) bestehender GSM-Nutzungen der E-Netzbetreiber in den 900 MHz-Bereich).

Funkschnittstelle

Das GSM-Spektrum ist unterteilt in Funkkanäle mit einer Bandbreite von je 200 kHz. Ein solcher Kanal umfasst mittels Zeitmultiplex-Verfahren (TDMA = Time Division Multiple Access) 8 Zeitschlitz, d. h. über einen Funkkanal können bis zu 8 Gespräche gleichzeitig übertragen werden. Jeder TDMA-Rahmen hat eine Dauer von 4,615 ms, bestehend aus acht 0,577 ms langen Zeitschlitz. GSM verwendet für die Modulation das GMSK-Verfahren (Gaussian Minimum Shift Keying).

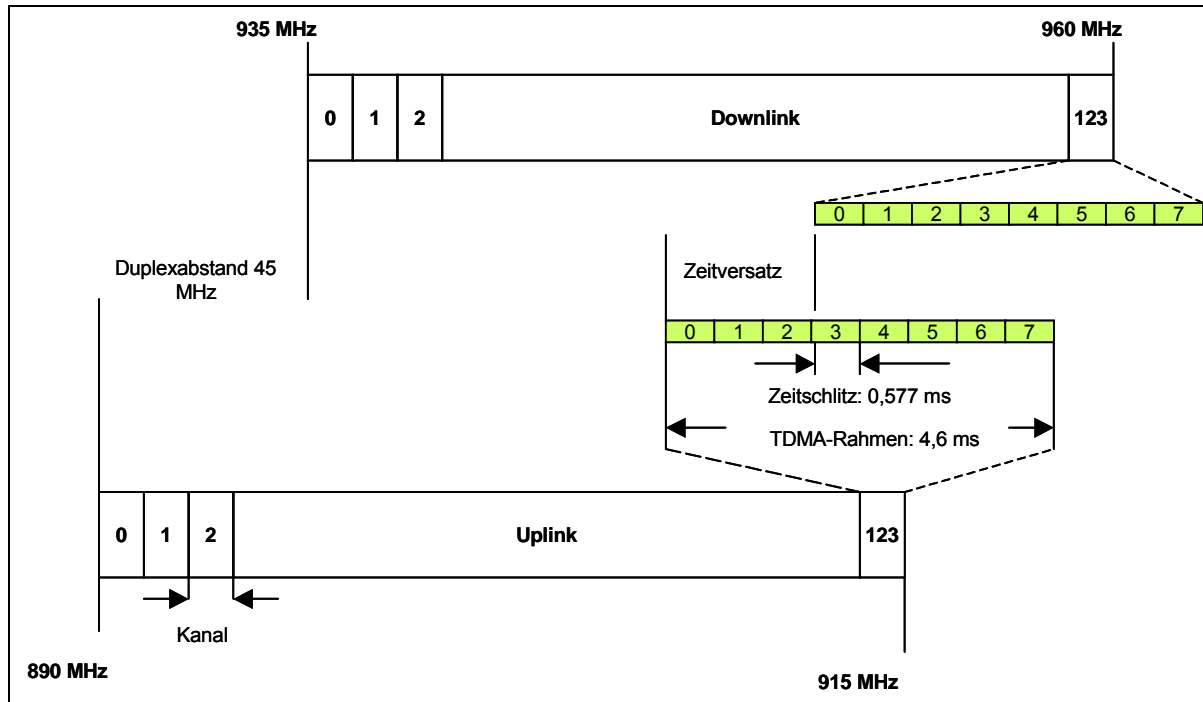


Abb. 1: Zeitmultiplexrahmen (Beispiel D-GSM)

Die digitalisierten Signale werden also nicht im Dauerbetrieb gesendet, sondern in zeitlich aufeinanderfolgenden kleinen Datenpaketen, mit einer Pulsfrequenz von $1/(4,615 \text{ ms}) = 217 \text{ Hz}$ bei einem aktiven Zeitschlitz. Werden gleichzeitig mehrere ($n \leq 8$) Zeitschlitz genutzt, senden die Basisstationen mit $n \times 217 \text{ Hz}$.

Für eine gute Funkverbindung zwischen Mobil- und Basisstation ist die vor Ort vorhandene Feldstärke verantwortlich. Die maßgeblichen Parameter hierbei sind Sendeleistung und Abstrahlcharakteristik der Antenne. Um einerseits gegenseitige Störungen im System zu unterbinden und damit die Mobilstation andererseits nicht mehr Leistung als erforderlich abstrahlt, wird der Leistungswert jedes Handys individuell von der Basisstation geregelt. Je nach Typ werden Mobilstationen in die Leistungsklassen 1 W, 2 W eingeteilt, transportable Anlagen in die Klassen 5 W, 8 W und 20 W. Der Regelbereich des GSM 900-Mobilteils liegt zwischen 3 mW und max. 2W bzw. 1 mW und max. 1 W bei GSM 1800. Die Basisstationen im D-Netz senden mit bis zu 640 W (GSM 900), im E-Netz bis 40 W.

Grundsätzlich unterscheiden sich die Signalfolgen der Datenpakete bei Handy und Basisstation. (Abb. 2). Während das Mobilteil die Sprachinformation immer im gleichen zeitlichen Abstand -und wie oben erwähnt- gepulst sendet, sendet die Basisstation quasi kontinuierlich, da sich deren Datenrate am Gesprächsaufkommen, also der Anzahl der Handys, die gleichzeitig mit der Basisstation verbunden sind, orientiert.

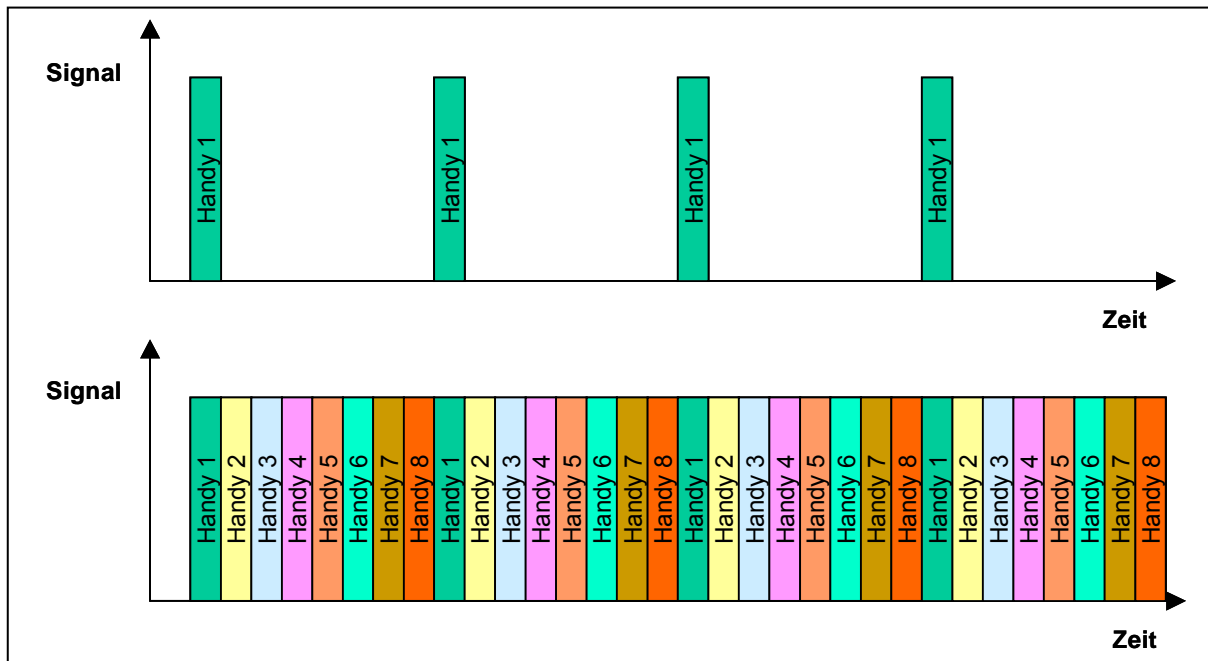


Abb. 2: Schematische Darstellung der Signalf orm eines Funkkanals bei einem Handy und in der darunter stehenden Graphik die Darstellung der Signalf orm bei einer Basisstation im D/E-Netz mit 8 Handys gleichzeitig im Funkkanal.

GSM-Gateway

GSM-Gateways sind mit einer SIM-Karte ausgestatte Mobilfunkadapter, die an Telefon-Anlagen angeschlossen werden und sich wie ein Mobiltelefon verhalten. Statt eine Verbindung über das Festnetz zu einem Mobilfunkteilnehmer aufzubauen, leitet die Telefonanlage das Gespräch zum GSM-Gateway, sodass das Gespräch direkt über das Mobilfunknetz geführt werden kann, quasi wie von Handy zu Handy. Auch der umgekehrte Weg ist möglich. Diese Art der Verbindung stellt u.U. für die Mitarbeiter eines Unternehmens die kostengünstigere Variante dar, da teure Gebühren ins Festnetz entfallen.

GSM-Dienste

Anfänglich boten die GSM-Netze nur Sprachkommunikation. Zwischenzeitlich gab es jedoch Evolutionsschritte, um weitere Dienste einführen zu können. Nachfolgend sind die wichtigsten aufgeführt:

- SMS (Short Message Service) ist ein Dienst zur Übertragung von Textnachrichten mit einer Länge von maximal 160 Zeichen. Er wurde 1992 erstmals erprobt und erfreut sich heute großer Beliebtheit (2004 wurden in Deutschland über 23 Mrd. SMS versandt).
- MMS (Multimedia Messaging Service) ist als Weiterentwicklung von SMS anzusehen. Seit Ende der 90er Jahre bietet er die Möglichkeit, multimediale Informationen zu anderen Handys oder zu normalen E-Mail-Adressen zu versenden. Die maximale Größe einer MMS kann bislang 300 kByte betragen.
- WAP (Wireless Application Protocol) wurde 1998 verabschiedet. Dieser Standard ermöglicht den mobilen Zugang ins Internet und neue Dienste im Mobilfunk, z.B. die Übertragung von Börsenkursen. Wegen der geringen Auflösung der Handy-Displays beschränkt sich dieser Zugang auf kleinere Textseiten und auf Schwarzweiß-Bilder.
- HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) ist ein seit Ende 1999 verfügbarer kanalvermittelter Datenübertragungsdienst. Durch Bündelung mehrerer benachbarter Zeitschlitze eines Funkkanals sind theoretisch Übertragungsgeschwindigkeiten von bis zu 8 x

14,4 kBit/s = 115,2 kBit/s möglich. Angeboten wird HSCSD in Deutschland von E-Plus und Vodafone mit Bitraten von 14,4 kBit/s.

- GPRS (General Packet Radio Service), eingeführt Ende 2000, ist ein paketorientierter Datenübertragungsdienst in den GSM-Netzen, bei dem die Daten sendeseitig mittels Internet-Protokoll in einzelne Pakete umgewandelt, als solche übertragen und am Empfangsort wieder zusammengesetzt werden. Durch Bündelung mehrerer Zeitschlitzte können abhängig von der Netzauslastung bis zu 57,6 kBit/s übertragen werden. Da GPRS auf der Vermittlung einzelner Datenpakete und nicht auf der Bereitstellung fester Übertragungswege beruht, können die Nutzer stets eingebucht bleiben.
- EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution) beinhaltet ein Übertragungsverfahren, mit dem sich deutlich höhere Datenraten realisieren lassen. Durch Verwendung einer leistungsfähigeren Modulation (8-stufiges Phase Shift Keying statt GMSK) gelingt es, 48 kBit/s pro Zeitschlitz, bei Bündelung aller acht Zeitschlitzte eines Funkkanals bis zu 384 kBit/s zu übertragen. Allerdings sind hierzu EDGE-fähige Endgeräte notwendig. EDGE ist bereits in verschiedenen europäischen Ländern eingeführt und soll im Jahr 2007 von T-Mobile auch in Deutschland angeboten werden [7].

GSM und EMVU: Mobilteil

Die maximale Sendeleistung eines Mobilfunkteils ist davon abhängig, in welchem Netz es betrieben wird. Diese beträgt im D-Netz (GSM 900) 2 W, im E-Netz (GSM 1800) 1 W. Da nicht in jedem Fall die maximale Senderleistung erforderlich ist, wird die tatsächliche Sendeleistung des Mobilteils den lokalen Umständen angepasst. Hierzu kann die Basisstation die Leistung des Mobilteils bei guten Sende- und Empfangsbedingungen in Stufen, bis auf 3 mW bei GSM 900, bzw. 1 mW bei GSM 1800, herunterregeln. Analog werden die Geräte, wenn sich der Nutzer z.B. in abgeschirmten Räumen befindet, bis auf die maximal mögliche Leistung hochgeregelt. Mobiltelefone werden in der Regel jedoch so gebaut, dass die abgestrahlte Leistung unter 2 Watt liegt, auch um die Akkumutzungsdauer zu verlängern.

Wenn man die Leistungsbilanz eines Mobilteils betrachtet, müssen mehrere Faktoren berücksichtigt werden. Zum Einen sendet ein GSM Mobilteil nicht kontinuierlich, sondern nur im jeweils zugeteilten Zeitschlitz, d.h. in einem Achtel der Zeit. Damit beträgt die mittlere Leistung 0,125 W. Da eine Anpassung an das Sprechverhalten erfolgt, d. h. in den Sprachpausen nicht gesendet wird und unter der weiteren Annahme, dass während eines Telefonats je zur Hälfte gesprochen bzw. zugehört wird, kann man davon ausgehen, dass das Mobilteil nur in ca. 2/3 der Gesprächsdauer sendet (Umschaltungen und Sicherheitszuschläge eingerechnet). Aufgrund der Leistungsregelung des Mobilteils geht man in der Praxis von einem mittleren (Regelungs-) Faktor von 0,05 aus. Mit diesen Daten errechnet sich die mittlere Leistung eines Mobilteils zu $0,125 \text{ W} \cdot 0,66 \cdot 0,05 = 4 \text{ mW}$.

Zu Sicherung der Erreichbarkeit macht das Mobilteil in bestimmten Abständen im Ruhezustand einen Periodic Location Update. Hintergrund ist, dass das Netz nicht davon ausgeht, dass sich das Mobilteil in jedem Fall korrekt abmeldet. Wie lange die Zeit zwischen den einzelnen Meldungen ist, legt der Netzbetreiber entsprechend seiner Netzkonfiguration fest (Tabelle 2). Der GSM Standard gibt hier nur ein Vielfaches von 6 Minuten vor.

Netz	Update Intervalle (min)
T-Mobile D1	360 (= 6h)
Vodafone D2	30 (= 0,5h)
E-Plus	720 (= 12h)
O ₂	60 (= 1h) oder 240 (= 4h)

Tabelle 2: Regelmäßige Update Intervalle deutscher Mobilfunkbetreiber

GSM und EMVU: Sendeanlagen

Im Rahmen des „EMF-Messprojekt Berlin“ [3] wurden im Jahre 2004 in Berlin umfangreiche Untersuchungen in der Umgebung von GSM- und UMTS-Mobilfunksendeanlagen durchgeführt. Hierbei handelt es sich um das erste umfangreiche Messprojekt, bei dem neben den etablierten Funksystemen auch neue Technologien wie UMTS oder DVB-T bzgl. Immissionen untersucht wurden. Ziel hierbei war allerdings nicht, die durchschnittliche Immission der Bevölkerung durch Mobilfunkstrahlen zu ermitteln, sondern Immissionsmessungen in unmittelbarer Nähe von Mobilfunksendeanlagen (Abstand <150 m), d.h. an Orten, wo mit überdurchschnittlichen Immissionswerten zu rechnen ist, durchzuführen.

Letztendlich sollte auch den Beschwerden von Menschen, die in unmittelbare Nähe solcher Sendeanlagen wohnten, Rechnung getragen werden. Die Messungen wurden an 25 Messorten mit 55 Messpunkten (davon 60 % in Gebäuden) so durchgeführt, dass eine Unterbewertung der Immissionen vermieden wurde und der im Bereich des Messortes vorkommende Maximalwert zuverlässig erfasst werden konnte. Für die UMTS-Immissionsmessungen wurde ein codeselektives Messverfahren angewendet, ansonsten wurde die Maximalwertsuche mit der sog. Schwenkmethode durchgeführt. Da die in der Umgebung von Funksendeanlagen geltenden Grenzwerte grundsätzlich in dem Betriebszustand, bei dem in der Umgebung der Anlage die elektromagnetischen Felder ihren Maximalwert erreichen, einzuhalten sind, muss auch die zeitliche Schwankung der Sendeleistung berücksichtigt werden. Damit wird sichergestellt, dass am betrachteten Ort auch die maximal auftretende Immission ermittelt wird. Daher wurden die GSM-Immissionen durch Messung des Signalisierungs-Trägers (broadcast control channel) ermittelt und das Ergebnis anschließend multiplikativ auf den maximal genehmigten Ausbauzustand hochgerechnet. Bei UMTS wurde durch Messung des CPICH-Trägers (Common Pilot Channel) analog zu GSM verfahren. Die Größenverteilung der Messergebnisse ist in Abb. 3 dargestellt. Die an den 55 Messpunkten ermittelten Werte betragen im Durchschnitt 4,8% des nach der 26. BImSchV zulässigen Grenzwertes. Bei 60 % der Messpunkte lagen die Immissionswerte unter 3% des Grenzwertes.. 40 % der Messpunkte weisen Immissionswerte zwischen 3 % und 15,6 % des Grenzwertes nach der 26. BImSchV auf. Da sich die Messpunkte in unmittelbarer Umgebung der Funksendeanlagen befanden, sind diese Messwerte nicht als städtischer Durchschnitt zu interpretieren. Vielmehr ist zu erwarten, dass die mittlere Immissionsfeldstärke in der Stadt einen deutlich geringeren Wert aufweisen wird.

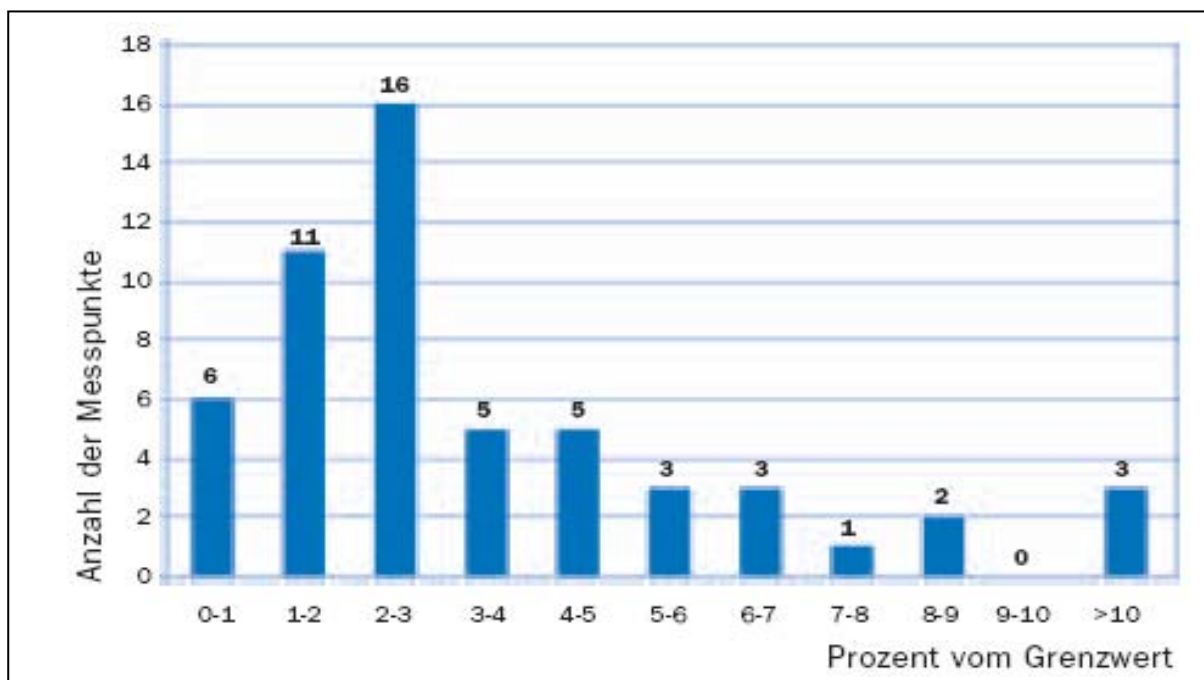


Abb. 3: Verteilung der Messergebnisse (Elektrische Feldstärke in Prozent vom Grenzwert nach der 26. BImSchV [3])

Die Abb.4 und 5 zeigen die Immissionswerte in Abhängigkeit vom Abstand und vom Neigungswinkel zwischen Messpunkt und Antenne. Während der Abstand alleine kein geeignetes Kriterium darstellt, erscheint der Neigungswinkel eher als eine geeignete Bewertungsgröße. Die größten Immissionen treten an den Punkten auf, die sich im vertikalen Hauptstrahl der Antenne befinden.

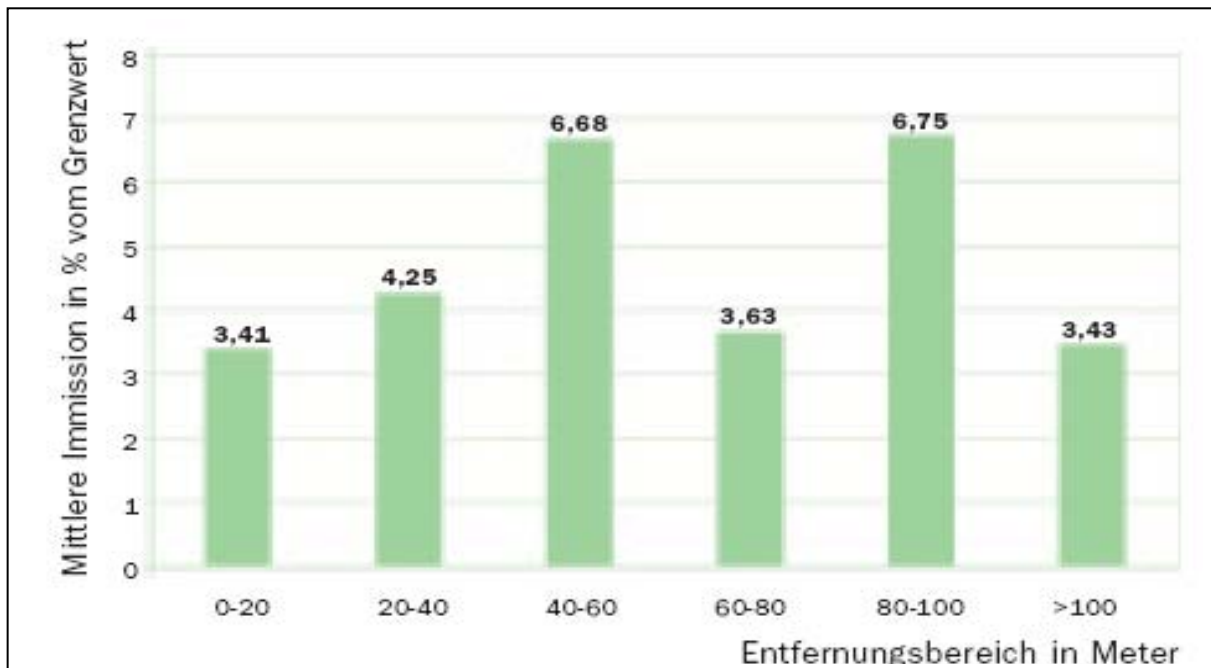


Abb. 4: Durchschnittliche Mobilfunkimmissionen (elektrische Feldstärke in Prozent vom Grenzwert) in Abhängigkeit vom Abstand zur Antenne [3]

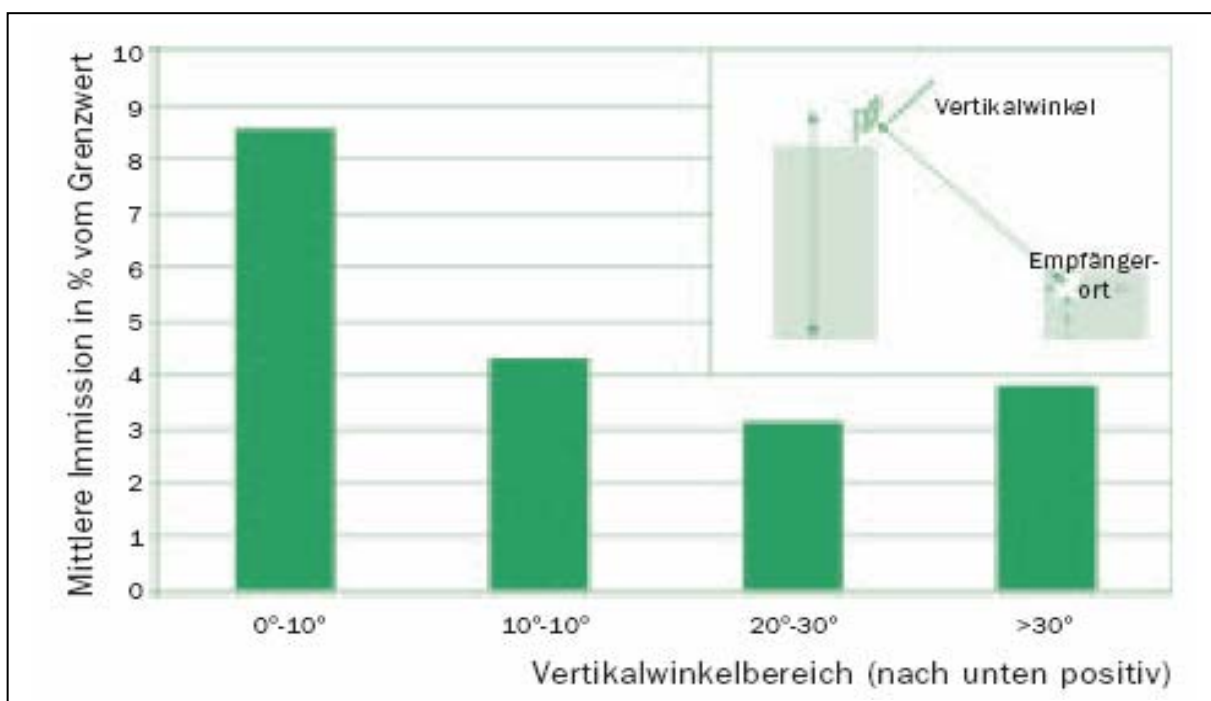


Abb. 5: Durchschnittliche Mobilfunkimmissionen (elektrische Feldstärke in Prozent vom Grenzwert) in Abhängigkeit vom Vertikalwinkel zwischen Messpunkt und Antenne [3]

Beleuchtet man ein von der Bevölkerung gern geäußertes Argument, dass die Anzahl der in einer Umgebung installierten Antennen auch die Immissionswerte beeinflussen, so ist nach Abb. 6 kein Trend, der diese These untermauert, zu erkennen.

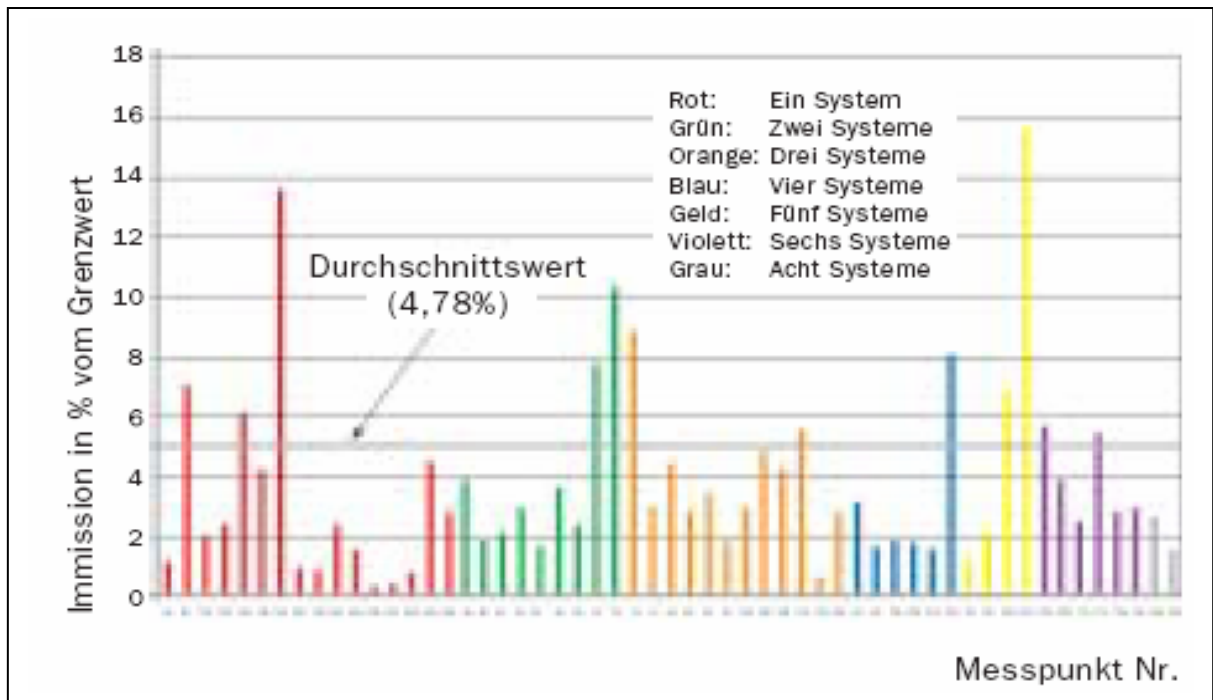


Abb. 6: Mobilfunkimmissionen (elektrische Feldstärke in Prozent vom Grenzwert) im Vergleich zur Ausstattung des verursachenden Standortes [3]

Literatur

- [1] Wilhelm Filensky, "Entwicklung des öffentlichen Mobilfunks in Deutschland", Forschungsgemeinschaft Funk e.V. Newsletter 1/2006
- [2] Matthias Wuschek, "Untersuchung der Leistungsregelung eines GSM-Mobiltelefons unter realen Betriebsbedingungen", Forschungsgemeinschaft Funk e.V. Newsletter 1/2005
- [3] Matthias Wuschek, Christian Bornkessel, Bornkessel, "Umfangreiche Immissionsuntersuchungen in der Umgebung von GSM- und UMTS Mobilfunksendeanlagen", Forschungsgemeinschaft Funk e.V., Newsletter 4/2004
- [4] <http://www.bmwi.de/>
- [5] <http://www.gsmworld.com>
- [6] <http://www.elektronik-kompodium.de>
- [7] <http://de.wikipedia.org>
- [8] <http://www.gsmsite.de>