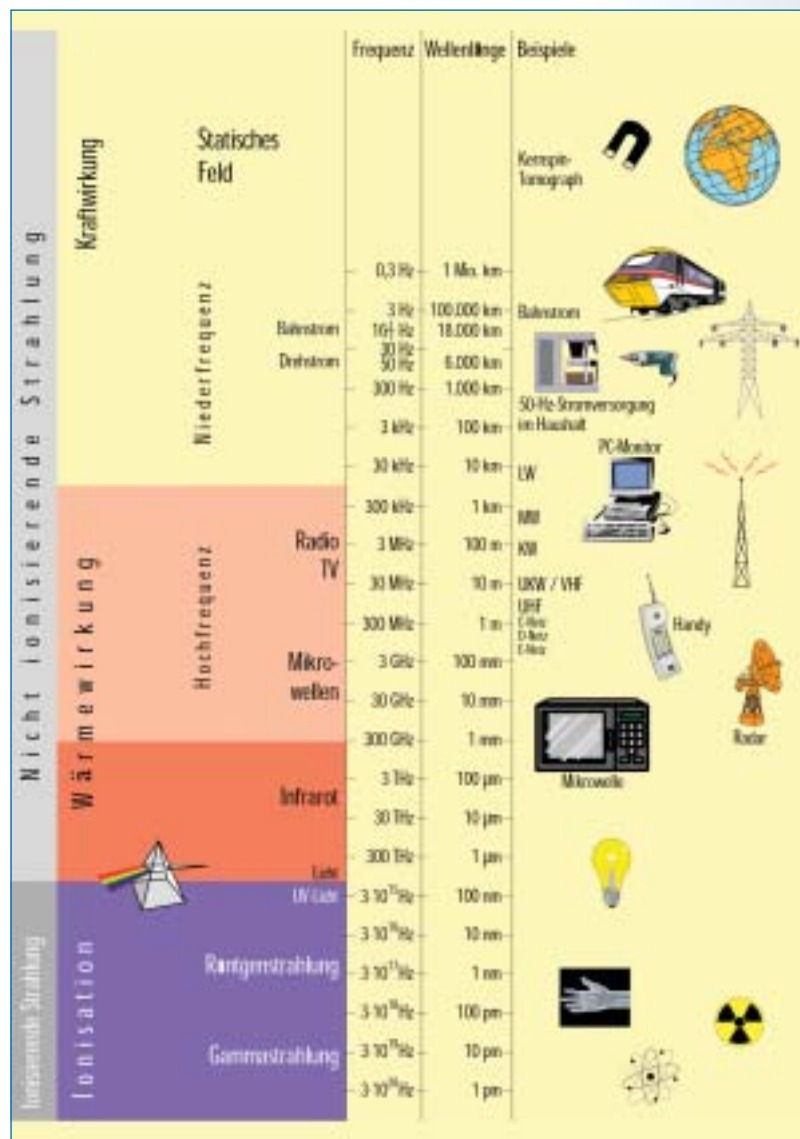


Zukunft Zu erwartende Entwickl im drahtlosen

Fritz Jörn

„Nachrichten sind eine feine Sache. Im Gegensatz zu Energie sind sie immer nur höchstens Auslöser von Prozessen, nie die Kraft selbst, die dahinter steckt. Gerade ihre Energielosigkeit lässt Nachrichten gegenstandslos übertragbar werden – wie Gedanken. Für unsere moderne Welt heißt das: Nachrichten mögen Funk. Und richtig: Es gibt heute nur mehr wenig Gründe, Nachrichten *nicht* frei durch den Raum zu übertragen, jedenfalls nicht an Ursprung und Ziel. Welche Entwicklungen sind da abzusehen? Werden unsere privaten und öffentlichen Räume noch mehr von Funk und Wellen aller Art »verschmutzt« werden? Was kommt da auf uns zu?“





im Äther ungen Spektrum

Funkübertragungen nehmen drastisch zu, die so genannte »Belastung« weniger.

Die Geschichte drahtloser Nachrichtenübertragungen ist uralt. Schon 1148 vor Christus übermittelte Agamemnon die Nachricht über die Einnahme Trojas durch offenes Feuer. Die Lichtzeichen liefen 450 Kilometer weit quer durch die Ägäis¹. Weitere Meilensteine: Ende 1901 funkt Guglielmo Marconi² von Europa nach Amerika. Dann: Seit 1987 gibt es bei uns legal Schnurlos-telefone, die inzwischen den Apparat am Gang selbst bei den Großeltern auf dem Land abgelöst haben. Schnurlostelefone arbeiten selbstverständlich über Funk. Der echte, öffentliche Mobilfunk ist seit der Jahrtausendwende auch in Deutschland zahlreicher vertreten als die Festnetztelefonie – ein Siegeszug der Funktechnik ohnegleichen, der selbst der eher technikunaffinen Bevölkerung beim Blick auf Sendemasten nicht verborgen geblieben ist. Fernsehen wird in Form von DVB-T wieder mehr terrestrisch-digital³. Selbst Speisen werden statt im Backofen mit Umluft in der Mikrowelle „strahlend“ wiederaufgewärmt. Thermometer funken, Busfahrkarten erhält man über Handy-Kurzmitteilungen – Beispiele ohne Ende. Ohne Draht, ungebunden, ist eben attraktiver als angeleint und festgekettet. Dazu kommt unsere Sucht nach Nachrichten allüberall, nach Kommunikation und Unterhaltung, unterwegs genauso wie ortsfest zu Hause.

Aus diesem bekannten Szenario heraus lassen sich mit ein wenig Nachdenken plausible Prognosen für die funktechnische Zukunft aufstellen. Sie beziehen sich – gleich gesagt – in erster Linie auf steigenden Datenverkehr und nur am Rande auf herkömmliche sprachliche Mobiltelefonie.

Im Mobilfunk werden die teuer ersteigerten UMTS⁴-Frequenzen, spätestens nach einem konjunkturellen Aufschwung der Konsumentennachfrage, immer stärker genutzt werden. Die Mobilfunkbetreiber erhoffen sich hier neue Anwendungen wie Bildtelefonie, ambulante Videokonferenzen, Fernsehübertragungen und Musikclipdownloads. Die Funktätigkeit von Mobilfunk bezieht sich praktisch ausschließlich auf die tatsächliche Nutzung – Telefone in Bereitschaft funken nicht oder nur extrem selten und wenig⁵. Hier bedeutet das, dass erst vermehrte Mobilfunknutzung vermehrte Ausstrahlungen mit sich bringt. Könnte man Funkwellen sehen, so würde man dieser Entwicklung gewahr werden wie der einer abends und nachts aufstrebenden, immer belebteren, belichteteren Stadt: Man ist einfach von immer mehr Licht umgeben, was – in Parenthese – persönlich weniger stört als der erhöhte Lärmpegel. Die Augen kann man ja schließen, wird man geblendet, kann man wegsehen. Doch zurück zu Funkwellen: Diese empfindet man überhaupt nicht⁶. Verlassen wir folgerichtig die populistische öffentliche Elektrosmogdiskussion und wenden uns neuen Anwendungsfeldern drahtloser Übertragungen zu. Hier ist technisch ein Ausflug in Frequenzen und Modulationen erforderlich. Wir finden das zur Funkübertragung brauchbare elektromagnetische Spektrum bereits voll vergeben vor, von der Langwelle – die immer noch einigen alten Radiostationen zur Übertragung ebenso langatmiger Parlamentsdebatten dient – über Radio und Fernsehen bis zu Mikrowellen im Ofen und zwischen Sendemasten. Mangels Spektrum

wird zu immer höheren Frequenzen Zuflucht genommen. Sie haben dabei den Vorteil, dass über hohe Frequenzen relativ mehr Nachrichten übertragen werden können als über niedrige. (So überträte ein einziger Fernsehkanal von 6 bis 8 MHz⁷ das gesamte Langwellenband von 135 kHz um das Fünzigfache.) Hohe Frequenzen, das heißt kurze Wellen⁸ haben aber die Eigenschaft, dass sie sich nicht weit verbreiten, dass sie um Hindernisse herum schlecht gebeugt werden. Sie sind also nur nahe dem Sender brauchbar, möglichst bei direktem Sichtkontakt zwischen Sender und Empfänger. Das führt etwa zur relativ hohen Zahl von UMTS-Mobilfunkzellen – die Frequenz liegt hier bei 2 GHz⁹, die Wellenlängen entsprechen nur mehr rund 15 cm. Als Laie kennt man Funkfrequenzen am ehesten von UKW, Ultrakurzwellen, auf der die Sender rund um die Uhr senden, und das mit vielleicht je ein paar hundert Watt bis zu hunderten von Kilowatt (kW)¹⁰. Analoges Fernsehen funkt noch etwas stärker – ein kräftiger Sender kann es durchaus auf 500 kW bringen¹¹. Sieht man sich aber die anderen, weniger populären Bänder an, die in ihrem Gebrauch ebenfalls regulatorisch genau festgelegt sind, so stellt man fest, dass sie de facto die meiste Zeit nicht benutzt werden, man denke nur an militärische Frequenzen, Feuerwehren oder Mobilfunk. Da sich Sender gegenseitig nicht stören dürfen, erhöht der erforderliche räumliche Sicherheitsabstand zudem die Leere auf den Wellen. Vereinfacht gesagt: Der See der Funkwellen liegt ruhig, bis auf ganz wenige brodelnde Bereiche.


Eine Modulation – gezielte Veränderung der sinusförmigen Welle – ist nötig, um überhaupt ein Signal, eine Nachricht zu übertragen. Von der simplen analogen Amplitudenmodulation à la Mittelwelle, mit einer einfachsten Gleichrichterdiode (Detektor) zu dekodieren, bis zur kommenden hochmodernen digitalen HS-DPA-Modulation¹² im UMTS-Netz reichen hier die Verfahren. Mit zunehmender Rechner- und damit zugleich Entschlüsselungskapazität der Sender und hauptsächlich auch der Empfänger (etwa Handys) steigen hier die mathematischen Ansprüche. Die Folge ist, dass immer mehr Daten immer sparsamer übertragen werden können. Der Laie konnte diese Entwicklung bei

der Datenübertragung über das Telefon verfolgen. Übertragen bessere Modems (»Modulatoren-Demodulatoren«) Anfang der achtziger Jahre 300 Bit in der Sekunde (b/s), später über ISDN¹³ 64 kbit/s, so bringen es heute DSL¹⁴-Verbindungen auf 1.000, ja 5.000 kbit/s. Für die Abschätzung künftiger Entwicklungen ist folglich zu bemerken, dass dank stetig verbesserter Modulationsverfahren über dieselbe Leitung oder Funkbandbreite immer mehr Daten übertragen werden können. Diese Entwicklung reicht aber, wie wir sehen werden, nicht aus, um dem Anschwellen der Datenmengen insgesamt als Gegengewicht zu dienen. Ein Vergleich: Digitale Bildkompression wird dank JPG¹⁵ immer dichter, die Zahl der digitalen Bilder steigt aber ins Unermessliche ...

»Im Äther¹⁶« wird in Zukunft das Anwachsen *digitaler Datenübertragungen* über Funk das eigentliche Wachstum ausmachen. Dabei wird die Hauptverbreitung – schon wegen der dafür nur mehr verfügbaren sehr kurzen Wellenlängen – im Nahfeld stattfinden, also in Wohnungen, Büros, auf öffentlichen Plätzen, in Hotels und so weiter. Ferne Gebirgswälder werden nach wie vor weitgehend frei bleiben ... Woher kommt das? Woher kommen all die Daten? Hier die Prognose:

Die Zahl der Breitband-Internetanschlüsse wird weiter stark steigen. Wir haben in Deutschland etwas über sechs Millionen Hochgeschwindigkeitsanschlüsse¹⁷. Damit liegt Deutschland mit etwas über 7 Breitbandanschlüssen je 100 Einwohner im schwachen Mittelfeld, erklärbar, aber dennoch bedauerlich. In Ländern wie den Vereinigten Staaten¹⁸ oder Südkorea¹⁹, mit sogar 25 Breitbandanschlüssen je 100 Einwohner, ist inzwischen ein wahrer Run nach Bandbreite ausgebrochen – unabhängig vom tatsächlichen Gebrauch und Nutzen. Man mag vermuten: Ist schon die automobilen Geschwindigkeit auf Autobahnen immer stärker begrenzt, wird das Benzin immer teurer, so möchte man sich doch einen schnellen Internetzugang leisten.

Diese hohen Bandbreiten werden zwar über (Telefon-) Draht oder (Fernseh-)Kabel ins Haus geliefert – ganz selten und teuer mit UMTS –; sie werden »am Ende« aber gebührenfrei *drahtlos* verteilt. Denkbar sind natürlich erst einmal eine Art private Unterverteilung in



die einzelnen Stockwerke oder Gebäudeteile, entweder herkömmlich datentechnisch mit »Ethernet«²⁰, also über draht- beziehungsweise koaxialleitungsgebundenes Netzwerk (Lan: Local area network), oder moduliert über das Stromleitungsnetz im Haus. Das nennt sich dann PWL, Power Line Connection, und das »strahlt« auch – etwas mehr als abgeschirmte Koaxialleitungen aber wesentlich weniger als Übertragungen, die bestimmungsgemäß mit Funk arbeiten. Das regt höchstens Funkamateure auf²¹. In Deutschland hat PWL trotz zahlreicher Einführungsversuche wenig Befürworter.

Für Daten ist eine Entwicklung analog zu den Telefonen im Haus vorherzusehen. Hatte man anfangs ein Telefon am Gang oder im Wohnzimmer, so kamen später leitungsverbundene Apparate im Schlafzimmer dazu und sehr bald überall nutzbare Schnurlostelefone. Die Verbindung von der Telefonsteckdose, aus der zumeist die Daten sprudeln, zum »Verbraucher«, dem PC, Notebook oder künftig dem Fernseher erfolgt bequemerweise drahtlos. Dabei hat sich die W-Lan-Technik (Wireless-Lan) auf dem gebührenfreien 2,4 GHz-IMS²²-Band nach dem Standard 802.11, auch Wi-Fi oder »Hotspot« genannt, etabliert. So genannte Server oder Router, Datenverteiler, zum Anschluss an DSL oder Kabelmodems werden inzwischen überwiegend gleich mit Funk angeboten und gekauft. Wir werden hier eine Situation ähnlich der bei Schnurlostelefonen erleben: überall eine Menge davon.

Grundsätzlich sind natürlich weggelassene Leitungen in der Wohnung generell attraktiv und unsichtbar, da nicht vorhanden. So werden die Verbindungen zwischen Fernsehern (etwa zum Ansehen von Videos) oder von Akustikanlagen (etwa Dolby surround) zu den zahlreichen Lautsprechern im Raum zunehmend drahtlos gestaltet. Drahtlose Kopfhörer sind nicht nur auf familienfreundlichen Klassikfans im Einsatz, sie dienen bereits dem schnurlosen Dauertelefonieren über den PC als »Headsets« mit Mikrophon – Funk auch in der Gegenrichtung. Videoüberwachungsanlagen werden nicht nur im öffentlichen Raum sondern leider auch privat zunehmen. Was ist einfacher, als sie die unbequemen ersten Meter drahtlos anzuschließen? Selbst Baby rufen heutzutage nicht mehr über

Draht aus der Krippe. Sie werden von Geburt an mit einem schnurlosen Babyphon überwacht. Handys bekommen Walkie-Talkie-Funktionen, Push-to-Talk genannt, damit auf einen einzigen Knopfdruck eine ganze Gruppe von Freunden angesprochen werden kann, natürlich drahtlos. Im engeren Nahbereich wird sich der Bluetooth-Funk²³ zwischen Geräten etablieren, der beim heutigen Standard noch unter den mangelhaften Geschwindigkeiten für größere Datenmengen leidet.

Funk mit hohen Frequenzen im Nahfeld wird uns aber auch außerhalb unserer vier Wände begleiten. Bald wird es keine Stelle in der Nachbarschaft geben, in die nicht eines Anwohners W-Lan oder ein öffentlich betriebener »Hotspot« reicht. In Bonn fahren bereits Straßenbahnen mit inneren Hotspots für die Damen und Herren Fahrgäste mit ihren geschäftigen Laptops²⁴. Flugzeuge werden, trotz inzwischen unsinnigem Handyverbot, in der Business-Klasse selbstverständlich drahtlos W-Lan bieten (und dabei auch nicht gleich abstürzen ...). Die Lufthansa fliegt bereits seit Anfang 2003 derart transatlantisch funkend²⁵.

Gelegentlich wird Bluetooth, bekannt als Funk vom Handy zum Headset, ähnlich wie W-Lan eingesetzt. Während der übliche »kleine« Bluetooth²⁶ mit Leistungen von einem Milliwatt allerhöchstens einmal zehn Meter weit kommt, gerade recht für schnurlose Kleingeräteanschlüsse, und entsprechend wenig Wirkung ausmacht, schöpft der »starke« Bluetooth funktechnisch die Möglichkeiten des IMS-Bandes genauso aus wie W-Lan und sendet mit bis zu 100 mW. Diese Verbindungen ersetzen quasi W-Lan-Links mit etwas anderen Protokolleigenschaften. (Anwendungen sind wieder DSL zum Laptop, etwa durch AVM mit ihren beliebten »blueFritz!«²⁷-Anbindungen, oder drahtlose Analogmodems – etwa das kleine Typhoon²⁸ – und Ähnliches.)

Ein weiterer Kleinfunkstandard kommt dazu, UWB oder Ultra-Wideband nach IEEE 802.15.3a für drahtlose Kurzstreckennetze²⁹. So etwas nennt sich amerikanisch W-Pan, Wireless Personal Area Network. UWB soll auf kurzen Entfernungen mit ganz geringen Sendeleistungen und ganz kurzen Impulsen parallel auf vielen Frequenzen schön breitbandige drahtlose Datenübertragungen erlauben, in schneller Konkurrenz

also zu Bluetooth. Das Verfahren wurde ursprünglich militärisch genutzt, weil es wenig Spuren hinterlässt. Allerdings streitet sich jetzt der Chiphersteller Freescale³⁰ mit einem Konsortium um Intel über den Standard. Auf UWB soll später einmal Wireless USB (WUSB) aufsetzen, mit dem sich dann Daten mit 480 Mbit/s bis zu 10 m weit übertragen lassen sollen. Theoretisch ist die UWB-Bandbreite sehr hoch, bis zu 10 Gbit/s. Allerdings nutzt UWB zur Zeit Frequenzen von 3,1 bis 10,1 GHz³¹, zwar mit minimalen Leistungen, dies aber dennoch in bereits vergebenen, regulierten Frequenzbändern. Kurz: Meist fehlt es schon einmal an der Zulassung.

Ein neuer Standard für »kleine« Funksignale ist gerade eben fertig geworden, »ZigBee«³² oder präziser IEEE³³ 802.15.4³⁴ beziehungsweise 802.15 TG4³⁵. Er soll mit ganz geringer Funkleistung Haushaltsgeräte verbinden, die relativ wenig »zu sagen« haben, Waschmaschinen vielleicht oder Thermometer, die Hausklingel und so weiter. Durch die bewusste Beschränkung auf ganz langsame Übertragung – auf wenig Daten also – lassen sich Strom- und Bandbreitenverbrauch niedrig halten. Selbst wenn es bald viele Geräte mit Zigbee geben sollte, ein nennenswertes Funkaufkommen wird definitionsgemäß hier nicht zustande kommen.

Nach dem Debakel mit den versteigerten UMTS-Frequenzen³⁶ verspüren große Anbieter nur noch wenig Lust, sich in neue funkende Abenteuer zu stürzen. Eine gewisse Ausnahme mag das ehemalige C-Netz³⁷ sein, auf dem sich wunderbar funken ließe, vor allem Daten – sind die Frequenzen doch nicht so elend hoch wie die von GSM³⁸- und UMTS-Netzen. Dafür hat die Firma Flarion sogar ein eigenes, besonders rasch arbeitendes Übertragungsprotokoll vorgeschlagen, Flash-OFDM³⁹. »Flash«, wörtlich Blitz, steht (etwas gewollt) für »Fast Low-latency Access with Seamless Handoff«⁴⁰ und OFDM für Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Wie auch immer: Die Entwicklung wird sich abwarten lassen. Bevor hier Datenverkehr stattfindet, muss wiederum der »Regulierer«⁴¹ die Frequenzen dafür freigeben, sie müssen lizenziert werden, ein Netz – dank der relativ langen Wellenlängen allerdings ein eher weitmaschiges – muss



aufgebaut werden, Empfangsgeräte müssen zur Verfügung stehen, von der Nachfrage ganz zu schweigen ... Ein ähnliches Schicksal mag dem »Weitverkehrs-W-Lan« »WiMAX«⁴² (IEEE 802.16) blühen, das zwar gegenüber dem gängigen W-Lan 802.11 mit spektakulären Reichweiten – bis zu 50 km – und Übertragungsgeschwindigkeiten – bis zu 70 Mbit/s – auftrumpft, allerdings ebenfalls vom Regulierer freizugebende Frequenzen und neue Netze braucht. Im allgemein freigegebenen und lizenzfreien ISM-Band ist wegen der Leistungsbegrenzung auf 100 mW⁴³ weder Flash-OFDM noch Wimax zu machen.

Wir werden in dicht computerbesetzten Gebieten also zunächst ein Anwachsen der Funktätigkeit im gängigen lizenzfreien ISM-Band (2.400—2.483,5 MHz)⁴⁴ erleben, bis, ja bis sich die Geräte dort anfangen gegenseitig zu stören. Der übliche Ausweg, einfach die Sendeleistung zu erhöhen um Konkurrenten zu übertrumpfen, ist hier aber nicht erlaubt. Also wird sich ein Maximalpegel einstellen und die effektive Reichweite einzelner Übertragungen wird ein wenig leiden. Lassen wir dort dann die unterschiedlichen Modulationsverfahren gegeneinander wetteifern. Die kommende Gesamt-»Belastung« unserer Umwelt – wenn man elektromagnetische Felder denn als Belastung bezeichnen mag (nicht »empfindet«, denn das kann man nicht) – wird sich trotz drahtloser Datenübertragung in Grenzen halten.

Dipl.-Ing. Fritz Jörn, Journalist aus Bonn

Fußnoten

- ¹ <http://www.joern.de/handypc/handypctext.htm#hist>
 - ² http://de.wikipedia.org/wiki/Guglielmo_Marconi
 - ³ DVB-T: Digital Video Broadcasting terrestrisch
 - ⁴ UMTS: universelles Mobiltelekommunikationssystem
 - ⁵ http://www.raf-woelfle.de/elektrosmog/technik/mobil_2.htm
 - ⁶ Das Phänomen der »Elektrosensibilität« wird vom Autor geleugnet.
 - ⁷ Der üblicherweise für **Rundfunkübertragung** genutzte Bereich der Langwelle liegt zwischen 148,5 und 283,5 kHz (nach <http://de.wikipedia.org/wiki/Langwelle>)
 - ⁸ Wellenlänge »Lambda, Umrechnung« = 300.000 km/s/f und Frequenz f = 300.000 km/s/». 300.000 km/s ist die Lichtgeschwindigkeit.
 - ⁹ Unterband (mobil zu fest) 1920-1980 MHz, Oberband (fest zu mobil) 2110–2170 MHz (<http://www.joern.de/esmog/esmog.htm#frequenzen>)
 - ¹⁰ <http://www.senderfotos.de/nieders.htm>
 - ¹¹ <http://www.zdf.de/ZDFde/inhalt/21/0.1872.2004693.00.html> »... Grundnetzsendern (Sender mit Leistungen zwischen 20 und 500 kW)« ... »In Deutschland werden für den herkömmlichen terrestrischen Fernsehgrundfunk 51 Kanäle mit einer Bandbreite von 7 MHz im VHF- bzw. 8 MHz im UHF-Bereich genutzt.«
<http://www.joern.de/esmog/esmog.htm#leistungen>
 - ¹² HSDPA: High-Speed Downlink Packet Access, eine adaptive (AMC, Adaptive Modulation Coding) QPSK- und 16-QAM-Modulation (QPSK: Quadrature Phase-Shift Keying, QAM: Quadrature Amplitude Modulation)
 - ¹³ ISDN: Integrated Services Digital Network, diensteintegrierendes digitales Netz
 - ¹⁴ DSL: Digital Subscriber Line, digitalisierte (Telefon-)Teilnehmeranschlussleitung
 - ¹⁵ JPG: Der Name stammt von der Joint Photographic Experts Group
 - ¹⁶ Im 19. Jahrhundert hatte man einen geheimnisvollen »Äther« für das Übertragungsmedium elektromagnetischer Wellen gehalten und konnte sich nicht vorstellen, dass sie sich im freien Raum körperlos ausbreiten, siehe <http://de.wikipedia.org/wiki/Michelson-Morley-Experiment>
 - ¹⁷ Stand Ende 2004 <http://www.btd.de/schlagzeilen.php>. Deutschland hatte Ende 2002 rund 82.536.700 Einwohner (<http://www.destatis.de/basis/d/bevoe/bevoetab4.htm>). Ergebnis 7,3 Breitbandanschlüsse / 100 Einwohner.
 - ¹⁸ In Amerika gibt es für breitbandigen Internetzugang weitaus mehr Kabel- als DSL-Anschlüsse. Ende 2003 liefen in den USA von 28,2 Millionen Breitbandanschlüssen 16,4 Millionen über Fernseekabel und nur 9,5 Millionen über Telefondrähte¹⁹. Die Deutschen haben hier einen hohen Aufholbedarf und je Einwohner erst etwas halb so viele Breitbandanschlüsse wie Amerika.
 - ¹⁹ 25 Breitbandanschlüsse je 100 Einwohner (<http://www.netzwelt.de/news/69355-suedkorea-ist-breitbandweltmeister.html>), <http://www.heise.de/newsticker/meldung/40363>
 - ²⁰ <http://de.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
 - ²¹ www.darc.de/aktuell/voinfo/vinf05003.pdf
 - ²² IMS: ursprünglich für den freien Gebrauch von »Industry, Medical, Science«, also eigentlich für Störsender wie Mikrowellenherde, freigehalten
 - ²³ Nach Harald Blåtand (Blauzahn, um 1000)
 - ²⁴ <http://www.teltarif.de/arch/2005/kw05/s16110.html>
 - ²⁵ <http://www.teltarif.de/arch/2002/kw19/s7885.html>
 - ²⁶ Bluetooth-Sendeleistungen
- | | | | |
|--------------------------|----------------------------|----------------------|------------|
| Sendeleistung in Watt | 1 mW | 2,5 mW | 100 mW |
| Sendeleistung in Dezibel | 0 dBm=»dB0« | 4 dBm | 20 dBm |
| maximale Reichweite | 3 bis 10 m | 20 m | rund 100 m |
| genutzt für | Kabelersatz
»am Körper« | selten
eingesetzt | BlueFRITZ! |
- ²⁷ <http://www.avm.de/de/Produkte/index.html>
 - ²⁸ <http://www.joern.de/Bluemodem.pdf>
 - ²⁹ <http://www.heise.de/tp/r4/artikel/17/17270/1.html>
 - ³⁰ <http://www.wirtschaftsblatt.at/cgi-bin/page.pl?id=390902>, <http://www.heise.de/newsticker/meldung/56542>, <http://www.zdnet.de/news/tkomm/0.39023151.39125836.00.htm>
 - ³¹ <http://www.windowsitpro.com/Windows/Article/ArticleID/40394/40394.html>
 - ³² Der Name Zigbee (Zickzack und bee, Biene) soll sich vom Tanz der Bienen ableiten, mit dem sie ihren Kolleginnen den Weg zu lohnender Beute signalisieren. (<http://www.eduvinet.de/mallig/bio/7insekt/7btanz1.htm>)
 - ³³ IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
 - ³⁴ <http://www.corscience.de/zigbee.html>
 - ³⁵ <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>, <http://standards.ieee.org/getieee802/802.15.html>, Folienvortrag ETH http://www.vs.inf.ethz.ch/edu/SS2004/DS/slides/09_zigbee.pdf
 - ³⁶ »Nach knapp dreiwöchiger Auktion legten D1 und D2, E-Plus, Viag Interkom, Quam und Mobilcom jeweils acht Milliarden Euro für ihre Eintrittskarte in das mobile Zukunftsgeschäft auf den Tisch.« <http://www.faz.net/s/Rub4C34FD0B1A7E46B88B0653D6358499FF/Doc~ED2D3D4D1250644CDB2B7E416C01AF86B~ATpl~Ecommon~Scontent.html>
 - ³⁷ 450 bis 455,74 MHz und 460 bis 465,74 MHz
 - ³⁸ GSM: Globales Mobiltelekommunikationssystem, früher Groupe Spéciale Mobile
 - ³⁹ http://www.flarion.com/products/flash_ofdm.asp: "The OFDM physical Layer creates a robust multiple access technology to deal with the impairments and uncertainties of the wireless channel. FLASH-OFDM goes further, dividing the available radio spectrum into a number of equally spaced and orthogonal tones and using fast frequency hopping across those tones to become a spread spectrum cellular technology. Spread spectrum allows the data to be packetized and spread out over a wide range of bandwidth, then re-assembled into its original message. Because of this, FLASH-OFDM supports a larger number of users and transmissions, and is highly secure." <http://www.inside-handy.de/news/1933.html>
 - ⁴⁰ <http://www.flarion.com/about/faq.asp>, <http://www.enorgis.com/mor20040911.htm>
 - ⁴¹ Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post <http://www.regtp.de/>
 - ⁴² <http://de.wikipedia.org/wiki/Wimax> mit interessanten Einzelheiten zur deutschen Entwicklung
 - ⁴³ <http://www.wissensnetz.de/lexikon/wiki,index,goto,WLAN.html>
 - ⁴⁴ <http://de.wikipedia.org/wiki/ISM-Band>