

Internet über Funk – wie sieht es mit der Strahlung aus?

Thomas Kurz

Das Internet ging bereits 1969 aus einem Projekt des US-amerikanischen Verteidigungsministeriums hervor. Seine heutige Popularität erlangte es jedoch erst in den späten 1990er-Jahren, in denen im Festnetz noch schmalbandige →ISDN- und Modem-Verbindungen Stand der Technik waren, und vor allem in den frühen 2000er-Jahren. Mit der Verfügbarkeit breitbandiger →ADSL-Anschlüsse, der Aufrüstung der Kabelfernsehnetze, um auch darüber Breitband-Internet bereitstellen zu können, und den damit einhergehenden Flatrate-Angeboten wuchs nicht nur die Beliebtheit des Internets: Nach Statistiken des deutschen Internet-Knotens DE-CIX verdoppelte sich das Datenvolumen in den letzten Jahren alle 12 Monate. Im heutigen Zeitalter der Kommunikation und Mobilität kommt verstärkt der Wunsch auf, diese beiden Aspekte zu verbinden und Internet mobil nutzen zu können. Mit der Inbetriebnahme der ersten digital arbeitenden Mobilfunknetze wurde 1992 die prinzipielle Möglichkeit geschaffen, neben Sprache auch beliebige Daten übertragen zu können. Dieser Artikel möchte einen Überblick über die verschiedenen Techniken geben, die heute Funkzugänge zum Internet bieten, und dabei insbesondere auf den Aspekt der Immissionen elektromagnetischer Felder eingehen.

Immissionsschutz: Grenzwerte und Beurteilungswert

Internet über Funk braucht und erzeugt elektromagnetische Felder. Die Art, wie Sprache und Daten drahtlos übertragen werden, unterscheidet sich dabei nicht grundsätzlich voneinander: Einer hochfrequenten elektromagnetischen Welle werden die gewünschten Informationen in geeigneter Weise aufmoduliert. Welches konkrete Modulationsverfahren dabei gewählt wird, ist für die Bewertung der Immissionssituation zweitrangig. In Deutschland regelt die Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV – den Schutz und die Vorsorge vor gesundheitlichen

Beeinträchtigungen durch elektromagnetische Felder. Beurteilungskriterium sind im Hochfrequenzbereich die Effektivwerte der elektrischen Feldstärke bei höchster betrieblicher Auslastung. Die festgelegten Grenzwerte basieren auf den Empfehlungen der →ICNIRP aus dem Jahre 1998, über deren Schutzwirkung auch heute noch unter Wissenschaftlern weltweit weitgehend Einigung besteht. Bezieht man die elektrische Feldstärke auf den Grenzwert bei derselben Frequenz, so ergibt sich eine Grenzwertausschöpfung (oder auch: Ausschöpfungsgrad), die als Beurteilungswert für die Immissionssituation herangezogen wird. Im Hochfrequenzbereich ist es auf Grund der Wirkungsweise der elektromagnetischen Felder (thermische Wirkung) auf biologisches Gewebe zweckmäßig, zur Berechnung der Grenzwertausschöpfung die Leistungsflussdichte heranzuziehen, denn dann lassen sich die so ermittelten Ausschöpfungen bei gleichzeitiger Anwesenheit verschiedener Frequenzen linear aufsummieren. Der Ausschöpfungsgrad der Feldstärke kann durch Wurzelziehen einfach gebildet werden. In jedem Fall ist die 26. BImSchV eingehalten, wenn der Summen-Ausschöpfungsgrad aller Funkdienste unter Eins bleibt. Weil die Grenzwerte der 26. BImSchV frequenzabhängig sind, können zwei Funkdienste bei gleicher Feldstärke, aber unterschiedlicher Frequenz, unterschiedliche Ausschöpfungsgrade erreichen. Neben der Frequenz beeinflusst vor allem die Senderleistung die Höhe der Immissionen. Je nach Antennentyp kann sie aber mehr oder weniger isotrop (in alle Richtungen gleich abstrahlend) oder stark gebündelt abgegeben werden. Um verschiedene Funkdienste hier vergleichen zu können, dient die EIRP, eine fiktive Leistung, die bei einer bündelnden Antenne angibt, welche Leistung in eine rundstrahlende Antenne eingespeist werden müsste, um die selbe Reichweite zu erzielen, die eine bündelnde Antenne in ihrer Hauptstrahlrichtung erreicht. Die EIRP errechnet sich aus dem Produkt von Antennenspeiseleistung und Antennengewinn. Stark bündelnde Antennen, wie sie etwa beim Richtfunk zum

Einsatz kommen, erreichen einen Gewinn von einem Faktor 1000 (30 dBi). Bei solchen Antennengewinnen konzentriert sich die übertragene Energie auf ein schmales Gebiet in der Sichtverbindung der beiden Endpunkte. Der maximale Durchmesser der Richtfunkstrecke hängt von der eingesetzten Frequenz und dem Abstand zwischen Sender und Empfänger ab und beträgt bei 3,5 GHz und 1 km Abstand etwa 10 m. Da sich in dieser Zone üblicherweise keine Hindernisse befinden dürfen und auch nicht befinden, spielen Richtfunkstrecken für die Immissionssituation praktisch keine Bedeutung, was auch durch Messungen bestätigt wird, bei denen in der Nähe von Richtfunkstrecken eine Grenzwertausschöpfung von 3×10^{-9} (Median von 25 Messpunkten) gefunden wurde [1].

Eine Vielfalt drahtloser Internet-Zugänge

Heute ist eine Reihe von Techniken in der Lage, drahtlose Internet-Zugänge verfügbar zu machen. Von der Mobilfunkseite kommen die Techniken \rightarrow E-GPRS (\rightarrow EDGE) und \rightarrow HSPA, die in den vorhandenen \rightarrow GSM und \rightarrow UMTS-Netzen arbeiten. Ähnlich aufgebaut sind auch vereinzelte \rightarrow WiMAX-Netze, die es als stationäre (ortsfeste) Zugangstechnik in lizenzfreien Frequenzbändern und als mobil nutzbare Technik in lizenzpflichtigen Bändern gibt. Gegenden, in denen keines dieser terrestrischen Netze verfügbar ist, können bisweilen nur auf satellitengestütztes Internet ausweichen. Unabhängig von der gewählten Zugangstechnik wird im häuslichen Umfeld meist \rightarrow WLAN eingesetzt, um den Internet-Zugang auf die vorhandenen Rechner weiter zu verteilen. Diese Vielzahl an Funktechniken führt zu gänzlich unterschiedlichen Immissionen. Die nachfolgend angegebenen Messwerte sind jeweils Mediane bei maximaler Anlagenauslastung.

Mobilfunkgestützte Internet-Zugänge

Aus Geschwindigkeits- und auch aus Immissionsschutzsicht am ungünstigsten ist Internet über GSM. Die maximal erzielbaren Datenraten liegen typisch bei circa 56 kbit/s bei \rightarrow GPRS. Wird EDGE unterstützt, so werden circa 200 kbit/s erreicht. Die Immissionen unterscheiden sich zwischen Telefonie und Datentransfer nicht; in Untersuchungen an 126 Messpunkten in der Umgebung von Mobilfunk-Sendeanlagen [3] ergab sich eine Grenzwertausschöpfung von etwa $3 \cdot 10^{-4}$. Der Nachfolger UMTS erzielt bereits Datenraten, die je nach Ausbaustufe zwischen 384 kbit/s und 7,2 Mbit/s liegen. Zur Übertragung von UMTS-Signalen kommt unter anderem eine neuere Modulation zum Einsatz, die bei gleicher Bandbreite ca. 80% weniger Sendeleistung als GSM benötigt. Entsprechend fallen auch

die Immissionen mit 5×10^{-5} (Median von 163 Messpunkten) geringer aus. Zuviel oder verschenkte Sendeleistung ist letztlich auch nicht im Sinne des Anbieters, weil sie in quasi-flächendeckenden Netzen ein Mehr allein an Stromkosten im sechsstelligen Euro-Bereich verursacht (kalkuliert auf Basis einer Einsparung von 10 W pro Basisstation und einem Netz von 10 000 Basisstationen). Daher versuchen Nachfolgetechniken in der Regel auch, den gleichen Dienst mit weniger Leistung zu verrichten.

WiMAX

Im lizenzpflichtigen 3,5-GHz-Band sind für WiMAX-Netze Sendeleistungen in der Größenordnung von UMTS zulässig. Mehrere bundesweite und lokale Anbieter kamen zum Zug, als die Bundesnetzagentur Ende 2006 die Lizenzen vergab. Nach den Versorgungsaufgaben müssen bis Ende 2009 etwa 15 % der Gemeinden in den 28 Lizenz-Regionen versorgt werden [2]. Bislang geht der Ausbau jedoch nur schleppend voran. So sind unter anderem WiMAX-Netze erst im Saarland und im Raum Ulm/Neu-Ulm in Betrieb [1]. WiMAX ist eine Familie von Standards, die verschiedene Umsetzungen ermöglichen. WiMAX im 3,5-GHz-Band erlaubt dabei in aller Regel Mobilität, das heißt den Wechsel der Funkzelle im laufenden Betrieb. Die Datenraten liegen dabei im unteren Bereich derer von DSL-Anschlüssen, das heißt typischerweise bei wenigen Mbit/s. Bislang werden geringere Sendeleistungen als bei UMTS eingesetzt, sodass auch der Median der Immissionen, gemessen an 28 Messpunkten von WiMAX-Netzen im Raum Ulm, mit 6×10^{-6} etwas geringer als bei UMTS ausfällt [1].

Davon zu unterscheiden sind WiMAX-Netze in den lizenzfreien Frequenzbereichen bei 2,4 GHz und 5,7 GHz. In den beiden Frequenzbereichen sind maximale EIRP-Sendeleistungen von 100 mW beziehungsweise 1 W zulässig. Dadurch eignet sich die Technik eher für Einzelanwendungen, etwa zur Versorgung eines kleinen Dorfs. Die Basisstation ist dann meist per Richtfunk an den nächstgrößeren Knoten des Betreibers angebunden und versorgt Außenmodems der Kunden – im Kernbereich können sie auch innen am Fenster platziert werden – stationär mit Internet-Zugängen. Meist handelt es sich um portable Lösungen, das heißt ein Wechsel des Modemstandorts ist möglich, der Internetanschluss kann aber währenddessen nicht genutzt werden (keine Mobilität). Wegen der geringen Sendeleistungen liegen die Immissionen mit typisch unter 10^{-6} und einem Median von 4×10^{-8} [4] auf sehr niedrigem Niveau.

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line):
Anschlusstechnik für Breitband-Internetzugänge über die Telefonleitung

E-GPRS (Enhanced GPRS), **EDGE** (Enhanced Data Rates for GSM Evolution):
Technik zur Erhöhung der Datenrate in GSM-Mobilfunknetzen. Wird die verbesserte Modulation von EDGE für eine GPRS-Übertragung verwendet, spricht man von EGPRS.

GPRS (General Packet Radio Service):
Erweiterung des GSM-Mobilfunks zur paketorientierten Übertragung beliebiger Daten.

GSM (Global System for Mobile communications):
Standard für voll-digitale Mobilfunknetze. Die gelegentlich verwendete Bezeichnung 2G (2. Generation) weist auf die Nachfolge analoger Netze hin.

HSPA (High Speed Packet Access):
Erweiterung des UMTS-Standards zur breitbandigen Übertragung von Daten. Je nach Übertragungsrichtung wird in HSDPA (downlink) und HSUPA (uplink) unterschieden.

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection):
Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung

ISDN (Integrated Services Digital Network):
Standard für ein leitungsgebundenes digitales Telefonsystem.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System):
Mobilfunksystem der dritten Generation (3G) und damit direkter Nachfolger von GSM.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access):
Familie von Standards für drahtlose Breitband-Internetzugänge.

WLAN (Wireless Local Area Network):
Standard für drahtlose Heimnetzwerke.

Satellitengestützte Internet-Zugänge

Den letzten Block der drahtlosen Internet-Zugänge bieten satellitengestützte Lösungen. Anders als die vorherigen Techniken sind sie praktisch flächendeckend verfügbar. Erforderlich ist jedoch freie Sicht nach Süden, was die Verfügbarkeit in einigen Hanglagen einschränken kann. Frühere Varianten des Satelliten-Internets realisierten den Rückkanal (Uplink) über die Telefonleitung; heutzutage läuft er in der Regel ebenfalls über den Satelliten, was beim Websurfen auf Grund der großen Entfernung zum Satelliten zu Verzögerungen von etwa einer halben Sekunde alleine durch die Signallaufzeit führt. Die Funkverbindung ist eine Richtfunkstrecke, außerhalb der praktisch keine Immissionen zu erwarten sind.

Fazit

Für Breitband-Internetzugänge sind heute verschiedene Lösungsansätze über Funk verfügbar, die ohne aufwändige Verkabelung abgelegener Ortschaften auskommen. Mit fortschreitender Entwicklung sind dabei immer höhere Datenraten möglich, wobei gleichzeitig die aufgewandte Sendeleistung und damit auch die Immissionen sinken. Lizenzfreies WiMAX verursacht die geringsten Immissionen, ist aber eher zur Anbindung kleiner Dörfer interessant. UMTS und lizenzpflichtiges WiMAX unterscheiden sich nicht grundlegend; weder im Hinblick auf Sendeleistung und Immissionen noch in Bezug auf die Datenraten. Internetzugang über GSM (GPRS) bringt die höchsten Immissionen mit sich, bleibt aber auf Grund der geringen Datenraten ohnehin eher eine Notlösung nur dort, wo keine anderen Zugänge verfügbar sind.

Literatur

- [1] em-institut und IMST: Hochfrequenz-Immissionen durch funkbasierte Breitbanddienste; erschienen im Rahmen der Veröffentlichungsreihe Breitbandinitiative Bayern Band 2, Teil 2; 01. September 2008
- [2] Bundesnetzagentur: Amtsblatt Nr. 20/2006, 11.10.2006, S. 3053.
- [3] Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm: Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen, Abschlussbericht Teil 3, http://www.emf-forschungsprogramm.de/home/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_025.html
- [4] em-institut und IMST: Hochfrequenz-Immissionen durch funkbasierte Breitbanddienste; erschienen im Rahmen der Veröffentlichungsreihe Breitbandinitiative Bayern Band 2, Teil 1*, 10. September 2007.

Dr. Thomas Kurz, Bayerisches Landesamt für Umwelt