

ABSCHÄTZUNG DER EXPOSITION DER BEVÖLKERUNG DURCH LTE-SENDEANLAGEN



Pilotstudie im Auftrag des Informationszentrums Mobilfunk e. V.
Erstellt vom Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST)

Ergebnisse | Bewertung | Diskussion

| | |
|---|-------------------|
| Vorwort | S. 3 |
| Dagmar Wiebusch, Geschäftsführerin Informationszentrum Mobilfunk e. V. | |
| Grußwort | S. 4 - 5 |
| Dr. Christoph Revermann, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) | |
| Die Pilotstudie | S. 6 - 7 |
| Abschätzung der Exposition der Bevölkerung durch LTE-Sendeanlagen Projektüberblick | |
| LTE – Neue Mobilfunktechnik für das schnelle Internet | S. 8 - 11 |
| Welche Vorteile bietet LTE dem Nutzer? Welche technischen Innovationen nutzt LTE? Mess- und Hochrechnungsverfahren für LTE-Basisstationen | |
| Messergebnisse und Immissionsauswertung | S. 12 - 19 |
| Tabellarische Übersicht | |
| Bewertung | S. 20 - 23 |
| Ausbreitungsverhalten im Nahbereich | S. 20 |
| Geringer Abstand hat nicht zwangsläufig hohe Immissionen zur Folge | |
| Abstrahlcharakteristik und Höhenabhängigkeit | S. 21 |
| Entscheidend sind Höhenunterschied und Ausrichtung der Anlage | |
| Dämpfung von Mobilfunkfeldern | S. 22 |
| Baumaterialien und Topografie schwächen die Energie von Mobilfunkfeldern | |
| Feldverteilung verschiedener Mobilfunkdienste | S. 23 |
| Vergleichbares Verhalten von LTE-, UMTS- und GSM-Feldern | |
| Diskussion | S. 24 - 27 |
| Einflussfaktoren für elektromagnetische Felder von LTE-Sendeanlagen und die Gesamtmission vor Ort | S. 24 - 25 |
| Mobilfunk und Gesundheit | |
| Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm: Grenzwerte bestätigt | S. 26 - 27 |
| Prof. Dr. med. Karl Ernst von Mühlendahl, Geschäftsführer der gemeinnützigen Kinderumwelt GmbH, Kinderarzt, Umweltmediziner und Sprecher der Umweltkommission der Kinderärzte | |

Liebe Leserinnen und Leser,

das Verschwinden von gedruckten Kursbüchern oder Flugplänen ist nur ein augenfälliges Beispiel dafür, dass ohne leistungsfähigen Zugang zum Internet eine Teilhabe am gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Leben heute kaum noch möglich ist. Der Bedarf an schnellen Internetverbindungen steigt unaufhörlich. Bis 2015 wird weltweit bereits mit einer Verzehnfachung des Datenvolumens gerechnet, welches über die globalen Telekommunikationsnetze transportiert werden muss. Die bestehenden Infrastrukturen stoßen angesichts dieser raschen Entwicklung an ihre Grenzen.

Vor dem Hintergrund dieser Prognosen setzt die deutsche Bundesregierung zur Standortsicherung auf den schnellen Ausbau der sogenannten vierten Mobilfunkgeneration: LTE (Long Term Evolution). Die neue Technik soll schon bald mit einer leistungsfähigen Datenübertragungsrate das mobile Internet überall verfügbar machen. Davon werden auch Haushalte in Gebieten profitieren, die bisher nicht mit Breitband versorgt sind. Der LTE-Abdeckung sogenannter „weißer Flecken“ hat die Bundesnetzagentur höchste Priorität eingeräumt. Der Aufbau von LTE-Netzen schreitet auch international voran: Derzeit befinden sich in 41 Ländern bereits 101 LTE-Netze entweder in der Planung oder in fortgeschrittenen Entwicklungsstufen. Kommerziell betrieben werden die ersten LTE-Systeme schon in Schweden, Norwegen und Polen. In Deutschland haben die Mobilfunknetzbetreiber im Sommer 2010 mit dem Aufbau erster LTE-Netze im Regelbetrieb begonnen.

Wenngleich die von LTE genutzten Frequenzbänder eng bei den derzeit für den Mobilfunk und für andere Funktechnologien genutzten Frequenzbereichen liegen und daher zu erwarten ist, dass sie sich in ihren Wirkungen grundsätzlich ähneln, ist über die realen Immissionen durch LTE-Sendeanlagen derzeit noch wenig bekannt: Anlass für das Informationszentrum Mobilfunk e. V., bereits im

Vorfeld einer flächendeckenden Netzstruktur in Deutschland die zu erwartende Exposition der Bevölkerung zu untersuchen. Dazu hat das IZMF im Sommer 2010 eine der ersten wissenschaftlichen Studien zur „Abschätzung der Exposition der Bevölkerung durch LTE-Sendeanlagen“ in Auftrag gegeben. Mit der Entwicklung eines zuverlässigen Messverfahrens und der Durchführung der Messungen wurde das Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST) in Kamp-Lintfort beauftragt. Untersucht wurden LTE-Sendeanlagen im Test-Betrieb sowie Anlagen im realen Pilotbetrieb. Zusätzlich zur Erhebung der konkreten Daten haben die Ingenieure die Messwerte auf eine maximale Anlagenauslastung hochgerechnet. Sofern an den LTE-Standorten andere Funksysteme installiert waren, wie GSM- und/oder UMTS-Sendeanlagen, wurden auch deren Immissionen ermittelt.

Die Mobilfunktechnik ist ein wesentlicher und immer noch wachsender Bestandteil unseres Alltags. Damit verbunden ist das berechtigte Interesse der Bürgerinnen und Bürger, über die tatsächlichen Immissionen in ihrer Umgebung informiert zu werden. Machen Sie sich anhand der vorliegenden Messergebnisse selbst ein Bild davon, welche elektromagnetischen Felder in Ihrer Nachbarschaft typischerweise auftreten. Und zögern Sie nicht bei Fragen einfach anzurufen! Unter unserer gebührenfreien Hotline-Nummer 0800 - 330 3133 stehen wir Ihnen gerne zum persönlichen Gespräch zur Verfügung. Den kompletten Studienbericht sowie diese Broschüre finden Sie auch auf unserer Homepage unter www.izmf.de.



Dagmar Wiebusch
Geschäftsführerin
Informationszentrum Mobilfunk e. V.

Liebe Leserinnen und Leser,

das Internet hat unseren Lebensstil enorm verändert. Es bietet Zugang zu den global verfügbaren Wissensressourcen, ermöglicht soziale Kontakte und stellt Dienstleistungen jeglicher Art zur Verfügung. Inzwischen ist die Nutzung nicht mehr nur via PC am Arbeitsplatz oder zu Hause möglich. Längst kann man auch unterwegs mobil auf das Internet zugreifen und praktische Services nutzen: E-Mails senden und empfangen, Auskunft über Fahrpläne einholen oder die Wetteraussichten abrufen. Immer mehr Informationen werden über mobile Online-Netzwerke ausgetauscht und stehen praktisch überall und jederzeit zur Verfügung.

Als Folge dieser Entwicklung wuchs das Datenvolumen in den deutschen Mobilfunknetzen nach Angaben der Bundesnetzagentur von 3,5 Millionen Gigabyte im Jahr 2007 auf 33,5 Millionen Gigabyte im Jahr 2009. Es wird erwartet, dass der Bedarf an mobilen Internetdiensten noch weiter steigt. Dieser wachsende Datenverkehr stellt eine Herausforderung für die Mobilfunktechnologie dar: Die bestehenden Netze stoßen an ihre Kapazitätsgrenzen. Bereits 2007 wurde daher mit der Entwicklung eines neuen Mobilfunkstandards, „Long Term Evolution (LTE)“, begonnen, der Daten mit einer Geschwindigkeit von bis zu 100 MBit/s übertragen kann. LTE ist damit der derzeit effektivste Mobilfunkübertragungsstandard.

Die für LTE notwendigen zusätzlichen Funkfrequenzen wurden im Mai 2010 von der Bundesnetzagentur versteigert. Der Netzaufbau hat

im Sommer 2010 begonnen. Die Frequenzvergabeverträge beinhalten die Auflage, zunächst ländliche Wohngebiete mit einem schnellen Breitbandanschluss zu versorgen. Dadurch sollen die neuen Netze nicht nur längst mobilen Städten eine noch bessere Anbindung verschaffen, sondern auch dazu beitragen, bisher schlecht oder gar nicht versorgte Gemeinden in Deutschland mit Breitbandanschlüssen auszustatten.

Der Ausbau der Mobilfunkinfrastruktur durch LTE-Sender wird begleitet von einer zum Teil kontrovers geführten Debatte zur Gesundheitsverträglichkeit der neuen Sendetechnik LTE sowie des Mobilfunks im Allgemeinen. Auch stellt sich die Frage, ob die zusätzlichen Sendeanlagen zugleich eine erhöhte Immissionsbelastung für die Bevölkerung darstellen. Solche Diskussionen sind richtig und wichtig, um die Potenziale wissenschaftlich-technischer Entwicklungen zu analysieren und die damit verbundenen gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Chancen und Risiken angemessen auszuloten. Sie können aber nur fruchtbar sein, wenn sie faktenbasiert und sachlich geführt werden.

Zur Gesundheitsverträglichkeit weist das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) darauf hin, dass die von LTE genutzten Frequenzbänder eng bei den derzeit für den Mobilfunk und für andere Funktechnologien genutzten Frequenzbereichen liegen und daher nicht zu erwarten ist, dass sich ihre biologisch-medizinischen

Wirkungen grundsätzlich unterscheiden. Und bei der Entwicklung der Immissionen rechnet die Bundesregierung zwar mit einem Anstieg der Gesamtimmission, betont aber, dass diese auch nach dem LTE-Ausbau voraussichtlich nur einen Bruchteil des gesetzlichen Grenzwertes betragen wird.

Da aber bislang nur wenige Studien vorliegen, die sich explizit mit LTE befassen, ist es gut, dass das Informationszentrum Mobilfunk e. V. (IZMF) eine Pilotstudie zur Abschätzung der Exposition durch LTE-Sendeanlagen in Auftrag gegeben hat. Damit ist es möglich, bereits vor dem flächendeckenden LTE-Netzausbau die potenziellen Auswirkungen der neuen Technik vorausschauend zu analysieren und fundierte Informationen über die tatsächliche Exposition der Bevölkerung im Nahbereich der Antennen zur Verfügung zu stellen. Die konkreten Messwerte können Bürgerinnen und Bürger über die an LTE-Anlagen auftretenden elektromagnetischen Felder aufklären und darüber hinaus als Grundlage für den notwendigen fachlichen Austausch zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik, Kommunen und Bevölkerung dienen. Für Qualität und Neutralität der Ergebnisse bürgt das Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST) mit Sitz in Kamp-Lintfort, das die Pilotstudie durchgeführt hat.

Die im Sommer 2010 erhobenen Messdaten an ausgewählten Antennenstandorten zeigen, dass die Feldimmissionen der neuen LTE-Mobilfunktechnik die zulässigen Grenzwerte der

26. Bundesimmissionsschutzverordnung (26. BImSchV) weit unterschreiten. Da LTE-Netze mit einer minimalen Sendeleistung betrieben werden können – pro übertragenes Bit erzeugt LTE die geringsten Immissionen von allen Übertragungsstandards – ist auch nach der bevorstehenden Netzverdichtung nur eine geringfügige Steigerung der Gesamtimmissionen zu erwarten. Das bedeutet, dass nach heutiger Erkenntnis der von den Bürgerinnen und Bürgern zu Recht geforderte Gesundheitsschutz in vollem Umfang gewahrt wird.

Bürgerinnen und Bürger, die sich ein Bild machen wollen von Mobilfunkimmissionen, den verwendeten Messverfahren sowie der Bewertung von Messergebnissen, finden in der vorliegenden Broschüre allgemeinverständliche Erklärungen. Vertretern von Städten und Gemeinden, die bei den Standortverfahren in intensivem Kontakt mit den Bürgerinnen und Bürgern stehen und in besonderem Maße auf qualifizierte und unabhängige Informationen angewiesen sind, bietet die vorliegende Broschüre zudem eine Fülle von weiterführenden Informationen.



Dr. Christoph Revermann
Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim
Deutschen Bundestag (TAB)



Abschätzung der Exposition der Bevölkerung durch LTE-Sendeanlagen

Mit dem Vormarsch der Smartphones gehören E-Mails und Surfen im Internet inzwischen zu den Standardanwendungen. Längst beschränken sich Mobilfunknutzer nicht mehr auf Sprach- und Textmitteilungen. Im Dezember 2009 erreichte mobiles Internet weltweit erstmals ein höheres Datenvolumen als das der Sprachverbindungen. Experten rechnen damit, dass der mobile Datenverkehr bis 2014 auf 1,6 Milliarden Gigabit (GBit) pro Monat wachsen wird. Bei diesem Wachstumsszenario stoßen selbst die leistungsfähigsten UMTS-/HSPA-Mobilfunknetze an ihre Grenzen. Mit der Einführung der LTE (Long Term Evolution)-Mobilfunktechnologie wird es möglich, den steigenden Ansprüchen der Kunden an die mobile Welt und dem exponentiell steigenden Datenverkehr gerecht zu werden. Die LTE-Technologie ist technisch gesehen der Nachfolger der High Speed Packet Access Technologie (HSPA). LTE ermöglicht eine signifikante Steigerung der Datenübertragungsrate auf bis zu 100 Megabit (MBit) pro Sekunde in Verbindung mit sehr kurzen Antwortzeiten.

Wie schon bei der Einführung von UMTS werden auch für LTE neue Frequenzen benötigt. Aktuell werden hierfür vorrangig zwei Frequenzbereiche genutzt: Der durch die Digitalisierung des Rundfunks frei gewordene Bereich um 800 MHz (790 - 862 MHz), der auch als „Digitale Dividende“ bezeichnet wird, sowie der Bereich um 2600 MHz (2500 - 2690 MHz). Ihre Versteigerung durch die Bundesnetzagentur ging am 20. Mai 2010 zu Ende. Jeder der vier in Deutschland aktiven Mobilfunknetzbetreiber hat Frequenzblöcke ersteigert und beginnt derzeit mit dem Aufbau der LTE-Netze.

Die beiden Frequenzbereiche haben unterschiedliche physikalische Eigenschaften, die auch ihre Nutzungsmöglichkeiten bestimmen. So hat beispielsweise der 800 MHz-Bereich

sehr gute Ausbreitungseigenschaften. Mit einer Basisstation können hiermit relativ große Gebiete versorgt werden, z. B. für den fungebundenen Breitbandausbau in ländlichen Bereichen. Je höher ein Frequenzbereich im Spektrum angesiedelt ist, desto beschränkter sind die Ausbreitungseigenschaften. Deshalb soll der 2600 MHz-Bereich vorwiegend in Ballungsräumen genutzt werden, wo die Basisstationen aufgrund der hohen Kapazitätsnachfrage ohnehin in geringen Abständen errichtet werden müssen.

Für LTE-Basisstationen gelten, wie für alle Mobilfunksendeanlagen, die gesetzlichen Grenzwerte der 26. Verordnung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV). Genehmigungsverfahren und Kontrollmessungen der Bundesnetzagentur stellen die Einhaltung der Grenzwerte sicher. In der Praxis werden diese sogar weit unterschritten.

Über die konkret auftretenden Immissionen durch LTE-Basisstationen ist derzeit allerdings noch wenig bekannt. Die Bundesnetzagentur geht anhand verfügbarer Informationen sowie spezieller Rechenverfahren davon aus, dass die durch LTE-Sendeanlagen erzeugten Immissionen mit denen der GSM- und UMTS-Basisstationen vergleichbar sind.

Mit dem Ziel, die Öffentlichkeit anhand von aktuellen Messdaten umfassend über die Immissionen des Mobilfunks zu informieren, gibt das Informationszentrum Mobilfunk e. V. (IZMF) seit 2003 regelmäßig Messreihen in Auftrag. Für die im Nahbereich von GSM- und UMTS-Anlagen auftretenden Immissionen wurden bis heute bereits mehrere Tausend Messdaten ausgewertet. Sie zeigen, dass der Mobilfunk trotz der permanenten Verdichtung der Netze die geltenden Grenzwerte bisher nur zu einem Bruchteil ausschöpft.

Wie aber wird sich die Exposition der Bevölkerung durch einen flächendeckenden Ausbau der LTE-Netze verändern? Diese Frage beschäftigt viele Bürgerinnen und Bürger. Um bereits im Vorfeld des LTE-Netzausbaus konkrete, belastbare Daten über die tatsächlich zu erwartende Exposition der Menschen zu gewinnen, hat das IZMF im Sommer 2010 eine Pilotstudie zur messtechnischen Erfassung der LTE-Immissionen beim Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST) in Auftrag gegeben. Untersucht wurden insgesamt sieben LTE-Sendeanlagen, davon fünf im Testbetrieb in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen sowie zwei LTE-Sendeanlagen in Brandenburg und Bayern im realen Pilotbetrieb.

Die Pilotstudie zur „Abschätzung der Exposition der Bevölkerung durch LTE-Sendeanlagen“, eine der ersten wissenschaftlichen Studien, basiert auf einem vom IMST entwickelten Messverfahren. Dieses zielt darauf ab, eine hinreichend genaue Messung der LTE-Immissionen zu ermöglichen. Das Verfahren stellt sicher, dass trotz des momentan noch geringen realen Verkehrsaufkommens eine Abschätzung über die bei maximaler Anlagenauslastung vorliegende Exposition getroffen werden kann. Die vorliegenden Messergebnisse gestatten zum jetzigen Zeitpunkt noch keine völlig exakte Immissionsprognose für ein erst in einigen Jahren voll ausgebautes LTE-Netz im Regelbetrieb. Die Hochrechnung auf eine Maximalauslastung erlaubt jedoch schon heute hinreichend zuverlässige Schätzungen. Da eine Vollauslastung der Sendeanlagen im Alltag erfahrungsgemäß nur punktuell erreicht wird – wie beispielsweise auf Flughäfen oder bei Großveranstaltungen – liegen die später im Regelbetrieb tatsächlich auftretenden Immissionen mit großer Wahrscheinlichkeit deutlich niedriger als die in dieser Broschüre dokumentierten und hochgerechneten Werte.

Sofern am LTE-Standort auch Mobilfunksendeanlagen des GSM- und/oder UMTS-Standards in Betrieb waren, haben die Ingenieure des IMST auch deren Immissionen mitgemessen. So lässt sich anhand der Datenbasis ein aussagekräftiges Bild der derzeitigen Gesamtexposition der Bevölkerung durch die aktuell in Betrieb befindlichen Mobilfunkdienste gewinnen. Darüber hinaus lassen sich auf Grundlage der Messwerte auch zuverlässige Abschätzungen für vergleichbare Standortszenarien und typische LTE-Mobilfunkimmissionen angeben.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Immissionen durch LTE-Sendeanlagen an allen Messpunkten die geltenden Grenzwerte erheblich unterschreiten. An 99 Prozent aller Messpunkte liegt die Grenzwerterausschöpfung bezogen auf die Leistungsflussdichte unter einem halben Prozent. An einzelnen Messorten tragen je nach örtlicher Situation entweder die neue LTE-Funktechnologie oder die konventionellen Übertragungsverfahren GSM und UMTS mehr zur Gesamtmission bei. In jedem Falle werden im künftigen Regelbetrieb der neuen LTE-Netze die zulässigen Grenzwerte nur zu einem geringen Teil ausgeschöpft.

Die Messungen geben Aufschluss über

- Die Stärke der elektromagnetischen Felder in der Umgebung von LTE-Mobilfunksendeanlagen im Bereich von 800 MHz und 2600 MHz
- Das Ausbreitungsverhalten von LTE-Feldern im Nahbereich
- Die Abstrahlcharakteristik von LTE-Sendeanlagen und ihren Einfluss auf das Ausbreitungsverhalten der Felder
- Die Dämpfungseffekte durch Gebäude und topografische Gegebenheiten
- Die Relation der Immissionen verschiedener Mobilfunkdienste

Welche Vorteile bietet LTE dem Nutzer?

Die LTE-Technologie (Long Term Evolution) ist eine durch internationale Standardisierungsgremien spezifizierte Weiterentwicklung des Mobilfunkstandards der 3. Generation (3G), allseits bekannt unter der Bezeichnung UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), sowie dessen Weiterentwicklung HSPA (High Speed Packet Access). Man spricht bei LTE auch von einem „Next Generation Mobile Network“ – also einem „Mobilfunknetz der nächsten Generation“. LTE wird häufig bereits der 4. Mobilfunkgeneration (4G) zugeordnet. Die LTE-Technologie, der unter Experten der Ruf vorausieht, schon bald zum meist genutzten Mobilfunkstandard der Zukunft zu avancieren, bietet überzeugende Vorteile:

Schnelle Datenübertragungsraten im Up- und Downlink

Ein hervorstechendes Merkmal der LTE-Technologie ist die höhere Geschwindigkeit von Internetverbindungen.

In den ersten Ausbaustufen des LTE-Netzes sollen bis zu 100 MBit/s für die maximale Download-Datenrate und ca. 50 MBit/s für die maximale Uploadgeschwindigkeit erreicht werden.

Kurze Latenzzeiten

LTE zeichnet sich durch kurze Latenzzeiten aus. Welchen Vorteil bringt das? Beim Nutzer entsteht so der Eindruck einer unterbrechungsfreien Verbindung, wie beispielsweise beim kabelgebundenen Internetzugang über DSL.

Datenpaketbasierte Übertragung nach IP-Protokoll

Basierten GSM und UMTS noch auf einer Vielzahl von Netzelementen, Protokoll- und Signalumwandlungen, nutzt LTE durchgängig das Internetprotokoll (IP). Die Datenübertragung erfolgt also – wie im Internet allgemein üblich – datenpaketorientiert. Damit kommt das System ohne komplizierte Zwischenschritte aus. Diese Neuerung gewährt ein hohes Maß an Sicherheit und Qualität des LTE-Netzwerkes. Auch Telefonate, die gegenüber den Datendiensten quantitativ zwar eher im Hintergrund stehen, werden im LTE-Netz über Internet-Telefonie (Voice over IP) geführt.

Gute Mobilitätseigenschaften

Auch in puncto „Mobilität“ bietet LTE Vorteile. Warum? Ein Funknetz besteht aus vielen Zellen. Bewegt sich ein Nutzer, so muss z. B. an den Grenzen der Zellen ein sogenanntes „handover“, also eine Übergabe, stattfinden. Diverse Optimierungen beim „handover“ ermöglichen einen fließenden Übergang von einer Funkzelle zur nächsten. So verringert sich die Gefahr von

Die hervorstechenden Vorteile von LTE im Überblick

- Schnelle Datenübertragungsraten im Up- und Downlink
- Kurze Latenzzeiten
- Datenpaketbasierte Übertragung nach IP-Protokoll
- Gute Mobilitätseigenschaften auch bei schneller Fortbewegung
- Abwärtskompatibilität
- Leicht aufrüstbare Infrastruktur
- Hohe Mitnutzungsquote bestehender Standorte
- Wenig neue LTE-Standorte notwendig
- Versorgung der letzten Gebiete ohne DSL („weiße Flecken“)

Abbrüchen und Qualitätseinbußen des Funksignals auch bei hohen Bewegungsgeschwindigkeiten des Nutzers.

Abwärtskompatibel und leicht aufrüstbar

Besonders attraktiv für den Nutzer ist die Abwärtskompatibilität der LTE-Technik. D. h. viele der künftigen LTE-Handys sollen auch mit den herkömmlichen Übertragungsstandards wie GSM, UMTS und HSPA problemlos zusammenarbeiten können. Wenn also am momentanen Standort des Nutzers kein LTE verfügbar ist, so kann automatisch auf einen anderen, gerade verfügbaren (wenn auch langsameren) Standard umgeschaltet werden.

Viele bewährte technische Eigenschaften der GSM- und UMTS-Technologie gelten auch bei LTE, z. B. die Reduzierung der Sendeleistung

auf das minimal nötige Maß. Ein weiterer besonderer Vorteil: Die bereits bestehende Infrastruktur kann schnell und kosteneffizient mit den notwendigen LTE-Komponenten aufgerüstet werden. Die Mitnutzungsquote bestehender Standorte wird also sehr hoch sein. Damit bleibt der Aufbau neuer Standorte auf ein Minimum beschränkt.

Versorgung der letzten Gebiete ohne DSL

Die LTE-Technologie soll schon bald auch ländliche Gebiete über Mobilfunk mit schnellem Breitband-Internet versorgen. Der durch die Digitalisierung des Rundfunks frei gewordene Frequenzbereich 800 MHz, die sog. „Digitale Dividende“, besitzt hervorragende physikalische Ausbreitungseigenschaften. Er eignet sich daher besonders gut für die funkgebundene Breitbandversorgung dünn besiedelter Bereiche. Mit einer Basisstation können hiermit relativ große Gebiete versorgt werden. Für die Nutzung der „Digitalen Dividende“ hat die Bundesnetzagentur klare Vorgaben ausgearbeitet. Die höchste Priorität haben dabei Gemeinden ohne Breitbandanschluss (sog. „weiße Flecken“) mit weniger als 5.000 Einwohnern. Erst wenn pro Bundesland 90 Prozent dieser Gemeinden versorgt sind, können die Betreiber auch dichter besiedelte Regionen erschließen. So sollen schon bald alle „weißen Flecken“ auf der Breitbandkarte in Deutschland geschlossen sein.



Welche technischen Innovationen nutzt LTE?

Zur Steigerung seiner Leistungsfähigkeit setzt LTE auf eine Vielzahl technischer Innovationen.

Neue Verfahren im Down- und Uplink

Als Übertragungsverfahren beim Downlink wird bei LTE ein modernes Verfahren eingesetzt: OFDMA. Die Abkürzung OFDMA steht für „Orthogonal Frequency Division Multiple Access“. Dieses Verfahren ermöglicht es, den Datenstrom parallel auf eine Vielzahl schmaler Frequenzbänder (Unterträger) zu modulieren. Diese können je nach Kapazitätsbedarf geschaltet werden. Kommt es zu Störungen, sind damit nur einzelne Unterbänder betroffen, die sich gezielt deaktivieren lassen. Damit zeigt sich OFDMA wesentlich störungsresistenter als beispielsweise die GSM-Übertragungstechnik. Das Verfahren wird bereits bei der digitalen Rundfunk- und Fernsehübertragung (Digital Audio Broadcasting und Digital Video Broadcasting Terrestrial) verwendet.

Im Uplink, d. h. auf Seiten des Nutzers, wird als Übertragungsverfahren „Single Carrier Frequency Division Multiple Access“ (SC-FDMA) benutzt. Einer der wesentlichen Vorteile dieses Verfahrens liegt in der besonders effizienten Technik zur Reduzierung des Energieverbrauchs. Diese macht sich u. a. in einer längeren Batterielaufzeit der Endgeräte positiv bemerkbar.

Neuartige Antennentechnik

Eine weitere Optimierung ist die verwendete Mehrantennentechnik „Multiple Input Multiple Output (MIMO)“. Über Doppel- oder Vierfachantennen nimmt hier das Signal unterschiedliche Wege zum Empfänger. Dieses Verfahren verbessert die Qualität und die Datenrate einer

drahtlosen Verbindung. Durch die Kombination der neuen Antennentechnik in Zusammenhang mit innovativen Übertragungsverfahren und modernen Modulationstechniken kann das zur Verfügung stehende Frequenzspektrum effizienter genutzt werden als mit der bisherigen 3G-Technik.

Intelligente Netzstruktur

Wie alle Mobilfunknetze sind auch die LTE-Netze zellular aufgebaut. Grundsätzlich basiert LTE auf einer Luftschnittstelle, die als „Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN)“ bezeichnet wird. Hier werden die Daten zwischen der Basisstation und den Endgeräten übertragen. Verschiedene innovative Verfahren tragen dazu bei, dass zwischen dem Endgerät und der Basisstation, die als „eNodeB“ bezeichnet wird, sehr hohe Datenraten möglich sind. Die Basisstationen haben sowohl eine Verbindung zur benachbarten Basisstation als auch eine Anbindung an das „Kernnetz“ (Core Network). Das Kernnetz selber wird als EPC (Evolved Packet Core) bezeichnet. Der Zellenradius wird im LTE-Netz im Wesentlichen vom Verkehrsaufkommen, der Frequenz und der Anzahl der Mobilfunkanwender im Versorgungsgebiet bestimmt und kann zwischen wenigen Metern (Mikrozelle) bis hin zu größeren Abständen (Makrozelle) variieren. Darüber hinaus bietet LTE Möglichkeiten für eine Selbstorganisation des Netzwerks. Wird eine neue Basisstation in Betrieb genommen oder fällt eine Station aufgrund technischer Probleme aus, konfigurieren sich die umliegenden Stationen automatisch neu und passen sich der Situation an. Bei den bisherigen Netzen müssen solche Systemanpassungen noch händisch durch einen Funknetzplaner durchgeführt werden.

Mess- und Hochrechnungsverfahren für LTE-Basisstationen

Als Messverfahren wurde an allen Messpunkten die „Schwenkmethode mit Hochrechnung auf den maximalen Betriebszustand der Anlage“ angewendet. Bei diesen Messungen wird eine handgeführte Messantenne durch das Messvolumen geschwenkt, wobei das Messgerät in der Betriebsart „max-hold“ arbeitet und somit die maximalen Immissionen im Messvolumen aufzeichnet. Laut 26. BImSchV sind die Immissionen bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung zu ermitteln. Da die LTE-Anlagen derzeit noch mit sehr geringer Verkehrslast arbeiten, würde eine Momentanwertmessung nur einen derzeitigen Immissionszustand, jedoch nicht den Maximalzustand widerspiegeln. Deswegen hat das IMST ein spezifisches Messverfahren entwickelt, das aus den Immissionen diejenigen Signalisierungs- und Kontrollkanäle extrahiert, die unabhängig von der Verkehrsauslastung mit konstanter Sendeleistung abgestrahlt werden. Mithilfe des Verhältnisses

Messgeräte und Messgenauigkeit

Die Messungen wurden mit kalibrierten Spektrum-Analysatoren und Messantennen durchgeführt. Die Messunsicherheit beträgt maximal +/- 3 Dezibel. Zur Qualitätssicherung wurden die Geräte vor Beginn der LTE-Messungen im EMV-Labor des IMST überprüft. Dabei konnte die Eignung der eingesetzten Messgeräte und Messmethoden bestätigt werden.

der Sendeleistung dieser Signalisierungs- und Kontrollkanäle zur maximalen Sendeleistung der LTE-Anlage kann zuverlässig auf die maximal mögliche Immission geschlossen werden. Die so ermittelte maximale Immission stellt einen theoretischen Höchstwert dar, der nur bei Vollausslastung der Basisstation erreicht wird.

Grenzwerte

In Deutschland gelten für ortsfeste Sendeanlagen ab einer bestimmten Mindestsendeleistung Grenzwerte. Sie sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) festgelegt und beruhen auf den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission für nicht-ionisierende Strahlung (ICNIRP). Die geltenden Grenzwerte bieten der Bevölkerung einen zuverlässigen Schutz vor wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Beeinträchtigungen von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks. Das ist auch das Fazit, das die Bundesregierung aus dem 2008 abgeschlossenen Deutschen Mobilfunkforschungsprogramm (DMF) gezogen hat. Bei der Bewertung der im Rahmen des DMF gewonnenen Forschungsergebnisse stellen das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und die Strahlenschutzkommission (SSK) übereinstimmend fest, dass das Forschungsprogramm keine Erkenntnisse erbracht hat, die die geltenden Grenzwerte aus wissenschaftlicher Sicht infrage stellen. Für die Einhaltung der Grenzwerte ist in Deutschland die Bundesnetzagentur verantwortlich. Zur Überprüfung führt sie bundesweit regelmäßig Kontrollmessungen durch.

| Standard | Frequenz | Elektrische Feldstärke (E) | Leistungsflussdichte (S) |
|----------|----------|----------------------------|--------------------------|
| GSM 900 | 900 MHz | 41,7 V/m | 4,6 W/m ² |
| GSM 1800 | 1800 MHz | 58,4 V/m | 9,0 W/m ² |
| UMTS | 2100 MHz | 61,0 V/m | 10,0 W/m ² |
| LTE 800 | 800 MHz | 38,7 V/m | 4,0 W/m ² |
| LTE 2600 | 2600 MHz | 61,0 V/m | 10,0 W/m ² |

LTE-Systeme und Messgrößen

Konkrete Messwerte schaffen Transparenz

Auf den folgenden Seiten finden Sie die Messergebnisse und die Immissionsauswertungen bezogen auf die Grenzwertausschöpfung der elektrischen Feldstärke sowie der Leistungsflussdichte für alle untersuchten LTE-Sendeanlagen. Angegeben ist auch die jeweils genutzte Kanalbandbreite. LTE arbeitet mit skalierbaren Bandbreiten zwischen 1,4 und 20 MHz. Je höher die Bandbreite, desto höher ist die erzielbare Datenrate. Die untersuchten Test- und Pilotanlagen arbeiteten mit Bandbreiten von 10 MHz bzw. 20 MHz.

Gemessen wurde an fünf Testanlagen im Frequenzbereich 800 MHz und 2600 MHz in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen. Im Pilotbetrieb hat das IMST Messungen an einer Sendeanlage im Frequenzbereich 800 MHz in Brandenburg sowie an einer Sendeanlage im Frequenzbereich 2600 MHz in Bayern durchgeführt. Worin liegt der Unterschied zwischen Test- und Pilotbetrieb? Um eine erfolgreiche Einführung des neuen Mobilfunkstandards zu garantieren, sind natürlich zahlreiche technische Anpassungen notwendig. Die Technik muss so optimiert werden, dass die angestrebten Übertragungsgeschwindigkeiten im geplanten Versorgungsbereich erreicht werden. Auch müssen Zuverlässigkeit und Qualität der LTE-Netze gewährleistet werden. Vor diesem Hintergrund haben zahlreiche Netzbetreiber bereits seit 2009 in vielen Ländern Teststationen in Betrieb genommen. Diese Testsender werden in der Regel nach einigen Wochen wieder abgebaut. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse fließen in den künftigen LTE-Netzausbau ein, der in Deutschland vor Kurzem mit dem Aufbau erster Pilotanlagen begonnen hat. Diese sollen schon bald den Regelbetrieb aufnehmen. Hierfür sind natürlich auch die entsprechenden Endgeräte notwendig, die voraussichtlich im nächsten Jahr auf den Markt kommen werden.

Elektrische Feldstärke und Leistungsflussdichte

Für die Beurteilung der Stärke von elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Hochfrequenzquellen werden üblicherweise die Größen elektrische Feldstärke (V/m) oder Leistungsflussdichte (W/m² bzw. mW/m²). Ein W/m² entspricht 1.000 mW/m² verwendet. Sie stehen in einem festen Verhältnis zueinander und lassen sich ineinander umrechnen. Doch was sagen die beiden Maße aus und welches wird vorzugsweise verwendet? Bei der Untersuchung möglicher biologischer Wirkungen hochfrequenter Felder wird meist die Leistungsflussdichte als Maßeinheit benutzt. Sie gibt die durch eine Fläche pro Zeiteinheit fließende Energie an, die durch ein elektromagnetisches Wellenfeld transportiert wird. Sie ist somit ein Maß für die Intensität der Strahlung und damit eine wichtige Größe für die Beurteilung biologischer Effekte, z. B. zur Bestimmung der Erwärmung von Gewebe. Die in Volt pro Meter angegebene Feldstärke ist primär ein technisches Maß. Eine Feldstärke von 1 V/m bedeutet, dass sie eine Spannung von einem Volt in einer Antenne von einem Meter Länge erzeugt. Diese Maßeinheit wird für die Beschreibung physikalischer Gesetzmäßigkeiten bevorzugt.

In der Diskussion um Grenzwerte stiften die beiden Größeneinheiten „elektrische Feldstärke“ (E) und „Leistungsflussdichte“ (S) – auch wenn sie mathematisch denselben Wert beschreiben – oft Verwirrung. Wegen des quadratischen Zusammenhangs zwischen Leistungsflussdichte und elektrischer Feldstärke ergeben sich für ein und denselben Messwert unterschiedliche Werte der Grenzwertausschöpfung. So entspricht beispielsweise eine Grenzwertausschöpfung von 10 Prozent, bezogen auf die Feldstärke, einer Grenzwertausschöpfung von 1 Prozent, bezogen auf die Leistungsflussdichte. Der Unterschied liegt in der Umrechnungsformel begründet und hat keine physiologische Bedeutung.

| Immissionen durch LTE | | | | Immissionen durch GSM und UMTS am Standort | | | |
|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Elektrische Feldstärke (E) | | Leistungsflussdichte (S) | | Elektrische Feldstärke (E) | | Leistungsflussdichte (S) | |
| in V/m | Grenzwertausschöpfung in % bezgl. E | in mW/m ² | Grenzwertausschöpfung in % bezgl. S | in V/m | Grenzwertausschöpfung in % bezgl. E | in mW/m ² | Grenzwertausschöpfung in % bezgl. S |

Stuttgart, Lorenzstraße 10, Alcatel-Lucent Firmengelände, Antennenstandort auf Haus 2 LTE-System 2600 MHz, Kanalbandbreite 20 MHz (Testbetrieb)

| | | | | | | | |
|--|-------|-------|----------|------------|------------------------|--|--|
| MP 1.1 Haus 1, Flügel A, 9. OG am offenen Fenster, mit Sichtverbindung Entfernung: 37 m | 1,70 | 2,79 | 7,67 | 0,077 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.2 Haus 1, Flügel A, 6. OG am offenen Fenster, mit Sichtverbindung Entfernung: 38 m | 0,43 | 0,71 | 0,50 | 0,005 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.3 Haus 1, Flügel A, 13. OG am offenen Fenster, mit Sichtverbindung Entfernung: 38 m | 0,45 | 0,73 | 0,53 | 0,005 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.4 Haus 1, Flügel A, 3. OG am offenen Fenster, keine Sichtverbindung Entfernung: 39 m | 0,26 | 0,42 | 0,18 | 0,002 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.5 Haus 1, Flügel A, ebenerdig vor dem Gebäude, keine Sichtverbindung Entfernung: 42 m | 0,30 | 0,48 | 0,23 | 0,002 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.6 Linienmessung Straße entlang Westsektor der Anlage, mit Sichtverbindung, Entfernung: 200 m | 0,33 | 0,54 | 0,29 | 0,003 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.7 Linienmessung Straße entlang Westsektor der Anlage, mit Sichtverbindung, Entfernung: 170 m | 0,26 | 0,43 | 0,18 | 0,002 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.8 Linienmessung Straße entlang Westsektor der Anlage, mit Sichtverbindung, Entfernung: 142 m | 0,35 | 0,57 | 0,32 | 0,003 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.9 Linienmessung Straße entlang Westsektor der Anlage, mit Sichtverbindung, Entfernung: 118 m | 0,27 | 0,44 | 0,19 | 0,002 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.10 Linienmessung Straße entlang Westsektor der Anlage, mit Sichtverbindung, Entfernung: 88 m | 0,29 | 0,47 | 0,22 | 0,002 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.11 Linienmessung Straße entlang Westsektor der Anlagen, mit Sichtverbindung, Entfernung: 64 m | 0,32 | 0,52 | 0,27 | 0,003 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.12 Haus 2 unter der Anlage Treppenhaus zwischen 6. und 7. OG, keine Sichtverbindung Entfernung: 4 m | 0,16 | 0,27 | 0,07 | 0,001 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.13 Haus 2 unter der Anlage Treppenhaus zwischen 5. und 6. OG, keine Sichtverbindung Entfernung: 7 m | 0,01 | 0,01 | 0,0002 | 0,000002 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.14 Haus 2 unter der Anlage Treppenhaus zwischen 4. und 5. OG, keine Sichtverbindung Entfernung: 10 m | 0,005 | 0,01 | 0,00006 | 0,0000006 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.15 Haus 2 unter der Anlage Treppenhaus zwischen 3. und 4. OG, keine Sichtverbindung Entfernung: 13 m | 0,003 | 0,005 | 0,00002 | 0,0000002 | keine Anlage vorhanden | | |
| MP 1.16 Haus 2 unter der Anlage Treppenhaus zwischen 2. und 3. OG, keine Sichtverbindung Entfernung: 16 m | 0,001 | 0,002 | 0,000003 | 0,00000003 | keine Anlage vorhanden | | |



MESSERGEBNISSE UND IMMISSIONSAUSWERTUNG

| Immissionen durch LTE | | | | Immissionen durch GSM und UMTS am Standort | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Elektrische Feldstärke (E) | | Leistungsflussdichte (S) | | Elektrische Feldstärke (E) | | Leistungsflussdichte (S) | |
| in V/m | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. E | in mW/m² | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. S | in V/m | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. E | in mW/m² | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. S |

Stuttgart, Lorenzstraße 10, Alcatel-Lucent Firmengelände, Antennenstandort auf Haus 1 LTE-System 800 MHz, Kanalbandbreite 10 MHz (Testbetrieb)

| | | | | | | | | |
|--|------|------|------|-------|------|------|------|--------|
| MP 2.1 Linienmessung Straße entlang Westsektor der Anlage, mit Sichtverbindung Entfernung: 62 m | 0,12 | 0,31 | 0,04 | 0,001 | 0,11 | 0,22 | 0,03 | 0,0005 |
| MP 2.2 Linienmessung Straße entlang Westsektor der Anlage, mit Sichtverbindung Entfernung: 88 m | 0,09 | 0,23 | 0,02 | 0,001 | 0,63 | 1,29 | 1,05 | 0,017 |
| MP 2.3 Linienmessung Straße entlang Westsektor der Anlage, mit Sichtverbindung Entfernung: 140 m | 0,16 | 0,42 | 0,07 | 0,002 | 0,39 | 0,84 | 0,41 | 0,007 |
| MP 2.4 Linienmessung Straße entlang Westsektor der Anlage, mit Sichtverbindung Entfernung: 185 m | 0,11 | 0,29 | 0,03 | 0,001 | 0,48 | 1,05 | 0,61 | 0,011 |
| MP 2.5 Linienmessung Straße entlang Westsektor der Anlage, mit Sichtverbindung Entfernung: 264 m | 0,48 | 1,23 | 0,60 | 0,015 | 0,43 | 0,95 | 0,50 | 0,009 |

| Immissionen durch LTE | | | | Immissionen durch GSM und UMTS am Standort | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Elektrische Feldstärke (E) | | Leistungsflussdichte (S) | | Elektrische Feldstärke (E) | | Leistungsflussdichte (S) | |
| in V/m | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. E | in mW/m² | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. S | in V/m | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. E | in mW/m² | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. S |

Mönchengladbach, Landgrafenstr. 59, Firmengelände SMS MEER LTE-System 800 MHz, Kanalbandbreite 10 MHz (Testbetrieb)

| | | | | | | | | |
|--|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|
| MP 3.1 Linienmessung 240°-Sektor Firmengelände, mit Sichtverbindung Entfernung: 27 m | 0,12 | 0,32 | 0,04 | 0,001 | 1,49 | 3,15 | 5,89 | 0,099 |
| MP 3.2 Linienmessung 240°-Sektor Firmengelände, mit Sichtverbindung Entfernung: 47 m | 0,28 | 0,73 | 0,21 | 0,005 | 1,62 | 3,17 | 6,95 | 0,100 |
| MP 3.3 Linienmessung 240°-Sektor Firmengelände, mit Sichtverbindung Entfernung: 72 m | 0,71 | 1,85 | 1,35 | 0,034 | 2,63 | 6,04 | 18,29 | 0,365 |
| MP 3.4 Linienmessung 240°-Sektor Firmengelände, mit Sichtverbindung Entfernung: 100 m | 0,82 | 2,12 | 1,79 | 0,045 | 2,70 | 6,37 | 19,35 | 0,406 |
| MP 3.5 Linienmessung 240°-Sektor Firmengelände, mit Sichtverbindung Entfernung: 120 m | 1,38 | 3,56 | 5,03 | 0,127 | 2,75 | 6,46 | 20,03 | 0,417 |
| MP 3.6 Linienmessung 240°-Sektor Firmengelände, mit Sichtverbindung Entfernung: 142 m | 1,07 | 2,76 | 3,03 | 0,077 | 2,85 | 6,50 | 21,57 | 0,422 |
| MP 3.7 Linienmessung 240°-Sektor Firmengelände, mit Sichtverbindung Entfernung: 173 m | 1,39 | 3,60 | 5,15 | 0,130 | 3,08 | 6,95 | 25,15 | 0,483 |
| MP 3.8 Linienmessung 240°-Sektor Firmengelände, mit Sichtverbindung Entfernung: 190 m | 1,17 | 3,03 | 3,65 | 0,092 | 3,66 | 8,11 | 35,59 | 0,658 |
| MP 3.9 Linienmessung 240°-Sektor Firmengelände, mit Sichtverbindung Entfernung: 226 m | 0,58 | 1,50 | 0,90 | 0,023 | 3,08 | 6,78 | 25,23 | 0,460 |
| MP 3.10 Linienmessung 240°-Sektor Firmengelände, keine Sichtverbindung Entfernung: ca. 226 m | 0,10 | 0,26 | 0,03 | 0,001 | 0,55 | 0,99 | 0,79 | 0,010 |



MESSERGEBNISSE UND IMMISSIONSAUSWERTUNG

| Immissionen durch LTE | | | | Immissionen durch GSM und UMTS am Standort | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Elektrische Feldstärke (E) | | Leistungsflussdichte (S) | | Elektrische Feldstärke (E) | | Leistungsflussdichte (S) | |
| in V/m | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. E | in mW/m² | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. S | in V/m | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. E | in mW/m² | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. S |

Düsseldorf, Berliner Allee 52, Gebäude Galeria Kaufhof LTE-System 2600 MHz, Kanalbandbreite 20 MHz (Testbetrieb)

| | | | | | | | | |
|---|-------|-------|---------|-----------|-------|-------|--------|---------|
| MP 4.1 Galeria Kaufhof Parkhaus Deck 5 unter der Anlage, keine Sichtverbindung Entfernung: 2 m | 0,07 | 0,11 | 0,01 | 0,0001 | 0,71 | 1,25 | 1,34 | 0,016 |
| MP 4.2 Galeria Kaufhof Parkhaus Deck 5 vor der Anlage, mit Sichtverbindung Entfernung: 6 m | 1,76 | 2,88 | 8,17 | 0,082 | 3,67 | 6,90 | 35,75 | 0,476 |
| MP 4.3 Galeria Kaufhof Parkhaus Deck 5 vor der Anlage, mit Sichtverbindung Entfernung: 31 m | 7,49 | 12,27 | 148,68 | 1,487 | 10,39 | 21,80 | 286,24 | 4,753 |
| MP 4.4 Galeria Kaufhof Parkhaus Deck 4 unter der Anlage, keine Sichtverbindung Entfernung: 7 m | 0,06 | 0,10 | 0,01 | 0,0001 | 0,21 | 0,39 | 0,12 | 0,002 |
| MP 4.5 Galeria Kaufhof Parkhaus Deck 3,5 unter der Anlage, keine Sichtverbindung Entfernung: 10 m | 0,02 | 0,04 | 0,001 | 0,00001 | 0,08 | 0,17 | 0,02 | 0,0003 |
| MP 4.6 Galeria Kaufhof Parkhaus Deck 2,5 unter der Anlage, keine Sichtverbindung Entfernung: 15 m | 0,01 | 0,02 | 0,0005 | 0,000005 | 0,06 | 0,14 | 0,01 | 0,0002 |
| MP 4.7 Galeria Kaufhof Parkhaus Deck 1,5 unter der Anlage, keine Sichtverbindung Entfernung: 20 m | 0,01 | 0,01 | 0,0001 | 0,000001 | 0,06 | 0,12 | 0,01 | 0,00016 |
| MP 4.8 Galeria Kaufhof Parkhaus Deck 0,5 unter der Anlage, keine Sichtverbindung Entfernung: 25 m | 0,002 | 0,004 | 0,00002 | 0,0000002 | 0,04 | 0,08 | 0,004 | 0,0001 |
| MP 4.9 Hotel Rheingold Oststraße 166 7. OG am geöffneten Fenster, mit Sichtverbindung Entfernung: 31 m | 1,66 | 2,72 | 7,28 | 0,073 | 3,22 | 5,94 | 27,48 | 0,353 |
| MP 4.10 Hotel Rheingold Oststraße 166 4. OG am geöffneten Fenster, mit Sichtverbindung Entfernung: 35 m | 0,32 | 0,52 | 0,27 | 0,003 | 1,84 | 3,47 | 8,95 | 0,120 |
| MP 4.11 Hotel Rheingold Oststraße 166 vor dem Hotel auf der Straße, mit Sichtverbindung Entfernung: 43 m | 0,19 | 0,31 | 0,09 | 0,001 | 1,29 | 2,51 | 4,40 | 0,063 |

| Immissionen durch LTE | | | | Immissionen durch GSM und UMTS am Standort | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Elektrische Feldstärke (E) | | Leistungsflussdichte (S) | | Elektrische Feldstärke (E) | | Leistungsflussdichte (S) | |
| in V/m | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. E | in mW/m² | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. S | in V/m | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. E | in mW/m² | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. S |

Düsseldorf, Worringer Str. 87 LTE-System 2600 MHz, Kanalbandbreite 20 MHz (Testbetrieb)

| | | | | | | | | |
|---|------|------|------|--------|------|------|-------|-------|
| MP 5.1 Linienmessung 210°-Sektor Worringer Str. 95 - 115, Worringer Platz, mit Sichtverbindung Entfernung: 77 m | 0,48 | 0,78 | 0,61 | 0,006 | 1,19 | 2,60 | 3,73 | 0,067 |
| MP 5.2 Linienmessung 210°-Sektor Worringer Str. 95 - 115, Worringer Platz, mit Sichtverbindung Entfernung: 122 m | 0,51 | 0,83 | 0,68 | 0,007 | 2,14 | 5,05 | 12,18 | 0,255 |
| MP 5.3 Linienmessung 210°-Sektor Worringer Str. 95 - 115, Worringer Platz, mit Sichtverbindung Entfernung: 153 m | 0,34 | 0,56 | 0,31 | 0,003 | 2,15 | 5,05 | 12,32 | 0,255 |
| MP 5.4 Linienmessung 210°-Sektor Worringer Str. 95 - 115, Worringer Platz, mit Sichtverbindung Entfernung: 180 m | 0,83 | 1,36 | 1,83 | 0,018 | 1,59 | 3,39 | 6,69 | 0,115 |
| MP 5.5 Linienmessung 210°-Sektor Worringer Str. 95 - 115, Worringer Platz, mit Sichtverbindung Entfernung: 235 m | 0,90 | 1,48 | 2,15 | 0,021 | 1,43 | 2,76 | 5,40 | 0,076 |
| MP 5.6 Toreinfahrt zur Worringer Str. 87, keine Sichtverbindung Entfernung: 25 m | 0,09 | 0,14 | 0,02 | 0,0002 | 0,72 | 1,66 | 1,39 | 0,028 |
| MP 5.7 Hotel friends, Worringer Str. 94 - 96 7. OG am offenen Fenster, mit Sichtverbindung Entfernung: 60 m | 1,44 | 2,37 | 5,52 | 0,055 | 1,94 | 3,70 | 9,94 | 0,137 |
| MP 5.8 Hotel friends, Worringer Str. 94 - 96 6. OG am offenen Fenster, mit Sichtverbindung Entfernung: 59 m | 1,01 | 1,66 | 2,71 | 0,027 | 2,07 | 4,61 | 11,36 | 0,213 |
| MP 5.9 Hotel friends, Worringer Str. 94 - 96 4. OG am offenen Fenster, mit Sichtverbindung Entfernung: 53 m | 0,58 | 0,95 | 0,90 | 0,009 | 1,60 | 3,76 | 6,77 | 0,141 |
| MP 5.10 Hotel friends, Worringer Str. 94 - 96 vor dem Hotel auf der Straße, mit Sichtverbindung Entfernung: 61 m | 0,22 | 0,36 | 0,13 | 0,001 | 0,62 | 1,31 | 1,02 | 0,017 |

MESSERGEBNISSE UND IMMISSIONSAUSWERTUNG

| Immissionen durch LTE | | | | Immissionen durch GSM und UMTS am Standort | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Elektrische Feldstärke (E) | | Leistungsflussdichte (S) | | Elektrische Feldstärke (E) | | Leistungsflussdichte (S) | |
| in V/m | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. E | in mW/m² | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. S | in V/m | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. E | in mW/m² | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. S |

Kyritz, Hagenstraße 9 a LTE-System 800 MHz, Kanalbandbreite 10 MHz (Pilotbetrieb)

| | | | | | | | | |
|--|------|------|--------|----------|------|------|------|--------|
| MP 6.1 Linienmessung Ecke Hagenstraße 17/Poststraße, mit Sichtverbindung Entfernung: 138 m | 0,05 | 0,12 | 0,01 | 0,0001 | 0,43 | 0,84 | 0,50 | 0,007 |
| MP 6.2 Linienmessung Poststraße 15, mit Sichtverbindung Entfernung: 206 m | 0,12 | 0,32 | 0,04 | 0,001 | 0,38 | 0,75 | 0,39 | 0,006 |
| MP 6.3 Linienmessung Poststraße neben Haus 11, mit Sichtverbindung, Entfernung: 275 m | 0,24 | 0,62 | 0,15 | 0,004 | 0,78 | 1,54 | 1,61 | 0,024 |
| MP 6.4 Linienmessung Poststraße 5, mit Sichtverbindung Entfernung: 350 m | 0,07 | 0,19 | 0,01 | 0,0004 | 0,98 | 2,00 | 2,53 | 0,040 |
| MP 6.5 Linienmessung Poststraße 4, mit Sichtverbindung Entfernung: 435 m | 0,09 | 0,23 | 0,02 | 0,001 | 1,54 | 2,89 | 6,33 | 0,083 |
| MP 6.6 Linienmessung Ecke Poststraße/Am Bahnhof, mit Sichtverbindung, Entfernung: 499 m | 0,10 | 0,26 | 0,03 | 0,001 | 1,30 | 2,49 | 4,50 | 0,062 |
| MP 6.7 Linienmessung Ecke Am Bahnhof/Goethestraße, mit Sichtverbindung, Entfernung: 624 m | 0,19 | 0,50 | 0,10 | 0,003 | 1,18 | 2,22 | 3,70 | 0,049 |
| MP 6.8 Linienmessung Am Bahnhof, Haus Nr. 18, mit Sichtverbindung, Entfernung: 828 m | 0,20 | 0,52 | 0,11 | 0,003 | 1,33 | 2,56 | 4,71 | 0,065 |
| MP 6.9 Linienmessung Am Bahnhof vor „Fortuna Automaten“, mit Sichtverbindung Entfernung: 958 m | 0,08 | 0,20 | 0,02 | 0,0004 | 0,63 | 1,08 | 1,04 | 0,012 |
| MP 6.10 Linienmessung Wilsnacker Straße am Bahnübergang, mit Sichtverbindung Entfernung: 1.120 m | 0,14 | 0,37 | 0,05 | 0,001 | 0,86 | 1,63 | 1,97 | 0,027 |
| MP 6.11 Straße der Jugend, Star-Tankstelle, mit Sichtverbindung Entfernung: 364 m | 0,03 | 0,07 | 0,002 | 0,00004 | 0,54 | 1,13 | 0,79 | 0,013 |
| MP 6.12 Holzhausener Straße 27, Goethe-Schule, Schulhof, mit Sichtverbindung Entfernung: 282 m | 0,13 | 0,33 | 0,04 | 0,001 | 0,39 | 0,86 | 0,41 | 0,007 |
| MP 6.13 Holzhausener Straße 27, Goethe-Schule, 2. OG, mit Sichtverbindung Entfernung: 261 m | 0,11 | 0,28 | 0,03 | 0,001 | 0,46 | 0,97 | 0,55 | 0,009 |
| MP 6.14 Holzhausener Straße 27, Goethe-Schule, 1. OG, eingeschränkte Sichtverbindung Entfernung: 260 m | 0,10 | 0,27 | 0,03 | 0,001 | 0,31 | 0,66 | 0,25 | 0,004 |
| MP 6.15 Hagenstraße 1 - 3, Heilig Geist Kirche, Mittelgang, keine Sichtverbindung Entfernung: 160 m | 0,01 | 0,02 | 0,0001 | 0,000003 | 0,06 | 0,10 | 0,01 | 0,0001 |

| Immissionen durch LTE | | | | Immissionen durch GSM und UMTS am Standort | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Elektrische Feldstärke (E) | | Leistungsflussdichte (S) | | Elektrische Feldstärke (E) | | Leistungsflussdichte (S) | |
| in V/m | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. E | in mW/m² | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. S | in V/m | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. E | in mW/m² | Grenzwert-ausschöpfung in % bezgl. S |

München, Georg-Brauchle-Ring 23 - 25 LTE-System 2600 MHz, Kanalbandbreite 20 MHz

| | | | | | | | | |
|---|-------|-------|---------|-----------|------------------------|------|-------|-------|
| MP 7.1 Außenmessung Riesstraße, mit Sichtverbindung, ebenerdig Entfernung: 245 m | 2,59 | 4,24 | 17,74 | 0,177 | 2,10 | 3,61 | 11,68 | 0,130 |
| MP 7.2 Innenmessung G.-Brauchle-Ring 23 - 25 Teeküche, 8. OG, keine Sichtverbindung Entfernung: 9 m | 0,04 | 0,06 | 0,004 | 0,00004 | kein Vergleich möglich | | | |
| MP 7.3 Innenmessung G.-Brauchle-Ring 23 - 25 Treppenhaus, 9. OG, keine Sichtverbindung Entfernung: 6 m | 0,04 | 0,07 | 0,005 | 0,00005 | kein Vergleich möglich | | | |
| MP 7.4 Innenmessung G.-Brauchle-Ring 23 - 25 Treppenhaus, 7,5 OG, keine Sichtverbindung Entfernung: 11 m | 0,01 | 0,01 | 0,0001 | 0,000001 | kein Vergleich möglich | | | |
| MP 7.5 Innenmessung G.-Brauchle-Ring 23 - 25 Treppenhaus 6,5 OG, keine Sichtverbindung Entfernung: 15 m | 0,005 | 0,01 | 0,00006 | 0,000001 | kein Vergleich möglich | | | |
| MP 7.6 Innenmessung G.-Brauchle-Ring 23 - 25 Treppenhaus 5,5 OG, keine Sichtverbindung Entfernung: 18 m | 0,004 | 0,01 | 0,00004 | 0,0000004 | kein Vergleich möglich | | | |
| MP 7.7 Innenmessung G.-Brauchle-Ring 23 - 25 Treppenhaus 4,5 OG, keine Sichtverbindung Entfernung: 22 m | 0,002 | 0,004 | 0,00002 | 0,0000002 | kein Vergleich möglich | | | |
| MP 7.8 Innenmessung G.-Brauchle-Ring 23 - 25 Presserraum EG Entfernung: 6 m zu Indooranlage | 2,08 | 3,41 | 11,45 | 0,115 | kein Vergleich möglich | | | |
| MP 7.9 Außenmessung Südseite zwischen Gebäudeteil C und D, mit Sichtverbindung Entfernung: 79 m | 0,20 | 0,33 | 0,10 | 0,001 | kein Vergleich möglich | | | |
| MP 7.10 Außenmessung vor dem Haupteingang, keine Sichtverbindung Entfernung: 56 m | 0,33 | 0,55 | 0,29 | 0,003 | kein Vergleich möglich | | | |

Ausbreitungsverhalten im Nahbereich

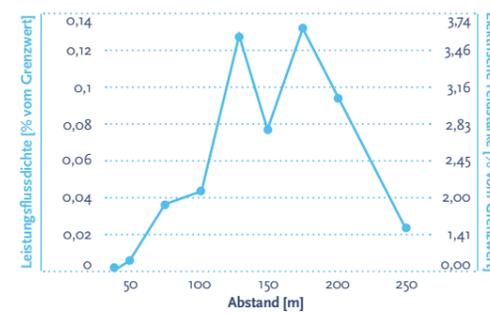
Geringer Abstand hat nicht zwangsläufig hohe Immissionen zu Folge

Häufig betrachten Bürgerinnen und Bürger Mobilfunkantennen in ihrer Nachbarschaft mit Skepsis. Sie befürchten, dass die Immissionen umso höher sind, je geringer die Distanz zu den Antennen einer Basisstation ist. Die Ingenieure des IMST haben deshalb speziell das Ausbreitungsverhalten von Mobilfunkfeldern der LTE-Sendeanlagen im Nahbereich unter die Lupe genommen. Ihr Fazit: Die Vorbehalte sind unbegründet.

Im Rahmen der Pilotstudie untersuchten die Mitarbeiter des IMST an allen LTE-Sendeanlagen das Ausbreitungsverhalten der Mobilfunkfelder. An einem Teststandort in Mönchengladbach führten sie beispielsweise eine Linienmessung zu einer in 30 Meter Höhe montierten LTE-Sendeanlage im Frequenzbereich 800 MHz durch. Ermittelt wurden die Werte an neun ebenerdigen Messpunkten im Abstand von 27 bis 226 Meter. Das nachstehende Diagramm demonstriert anschaulich, wie sich die an den Messpunkten gewonnenen Immissionswerte zum jeweiligen Antennenabstand verhalten. So fanden die Ingenieure am Messpunkt mit dem kürzesten Abstand zur Antenne mit 0,001 Prozent des Leistungsflussdichtegrenzwertes den niedrigsten Wert. Dagegen ermittelten sie an einem Messpunkt in 173 Meter Entfernung mit 0,130 Prozent einen deutlich höheren Wert. Auch die Auswertung der weiteren Linienmessungen zeigt vergleichbare Immissionskurven. Diese Ergebnisse belegen, dass der Abstand zu einer LTE-Sendeanlage – ebenso wie für andere Mobilfunkanlagen – kein brauchbares Kriterium zur Abschätzung der Immissionen darstellt. Die Grafik zeigt, dass die im Nahbereich zur Antenne ermittelten Messwerte bei freier Sicht auf die Antenne unter den Werten liegen, die bei größerer Entfernung beobachtet werden.

Fazit: Der Abstand zu einer Mobilfunkanlage ist kein zuverlässiges Kriterium für die Abschätzung der Immissionen. Aufgrund der Abstrahlcharakteristik der Antennen und der topografischen Gegebenheiten vor Ort treten im Nahbereich oft geringere Feldstärken auf als in größerer Entfernung. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die in unterschiedlichen Entfernungen ermittelten Leistungsflussdichten alle nur einen Bruchteil der gesetzlich geltenden Grenzwerte ausschöpfen.

26 BImSchV LTE-System 800 MHz



Ausbreitungsverhalten hochfrequenter elektromagnetischer Felder im Nahbereich am LTE-Teststandort Mönchengladbach

Abstrahlcharakteristik und Höhenabhängigkeit

Entscheidend sind Höhenunterschied und Ausrichtung der Anlage

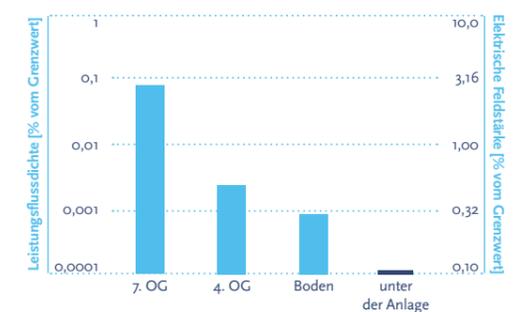
Obwohl Mobilfunknetze so aufgebaut sind, dass die Versorgung überall eine möglichst gleichbleibende Qualität bietet, gibt es bei genauerer Betrachtung durchaus lokale Unterschiede hinsichtlich der Immissionen. Ursache dafür ist die stark gerichtete Abstrahlung der elektromagnetischen Felder von Mobilfunkantennen. Betrachtet man den Abstrahlwinkel von der Seite, so ähnelt die Form dem Lichtkegel eines Leuchtturms oder einer Taschenlampe. Daneben treten aus technischen Gründen auch Nebensenderrichtungen auf, in denen aber deutlich weniger Energie transportiert wird als in der Hauptstrahlrichtung. In der Regel ist die Abstrahlcharakteristik etwas schräg nach unten geneigt. Fachleute sprechen dabei vom „Down-tilt“. Die jeweilige Immissionsstärke ist vor allem davon abhängig, ob sich der Messpunkt innerhalb oder außerhalb der Hauptsenderichtung der Basisstation befindet. Wie sich die relative Lage der Messpunkte zu einer LTE-Sendeanlage auswirkt, lässt sich am Beispiel Düsseldorf, Berliner Allee, sehr gut verdeutlichen. Dort hat das IMST die Abstrahlcharakteristik einer LTE-Testsendeanlage im Frequenzbereich 2600 MHz untersucht, wie sie bevorzugt zur Versorgung von Ballungsräumen genutzt wird. Gemessen wurde in einem Kaufhaus direkt unter der Sendeanlage sowie in verschiedenen Geschossen eines gegenüberliegenden Hotels.

Das Ergebnis: Obwohl alle Messpunkte im gegenüberliegenden Hotel in ähnlicher Entfernung zu den Sendeanlagen liegen, nehmen die Immissionen von Stockwerk zu Stockwerk deutlich ab. So wurde im 7. Obergeschoss ein Messwert von 0,073 Prozent, im 4. Obergeschoss ein Wert von 0,003 Prozent und im Erdgeschoss am Hoteleingang ein Wert von 0,001 Prozent des Grenzwertes bezogen auf die Leistungsflussdichte gemessen. Offensichtlich

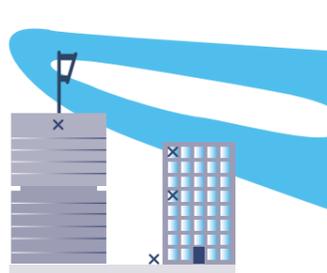
befindet sich der im 7. Obergeschoss liegende Messpunkt näher an der Hauptstrahlrichtung als die darunter liegenden Messpunkte. Die geringste Immission ermittelten die Experten direkt unter der Sendeanlage des Kaufhauses, obwohl dieser Messpunkt am nächsten zur Sendeanlage liegt. Dort wurden lediglich 0,0001 Prozent des Grenzwertes bezogen auf die Leistungsflussdichte gemessen. Grundsätzlich zeigt sich, dass selbst in unmittelbarer Nähe und in der Hauptstrahlrichtung einer LTE-Sendeanlage die Messwerte erheblich unter den geltenden Grenzwerten liegen.

Fazit: Die Immission an einem Standort ist nicht nur von der Entfernung, sondern vor allem auch von der Abstrahlcharakteristik und der Montagehöhe der Antenne abhängig. An Orten, die sich in gleicher Entfernung zur Sendeanlage, aber in unterschiedlicher Höhe befinden, können die Immissionen daher sehr stark variieren.

26. BImSchV LTE-System 2600 MHz



Beispiel Düsseldorf, Berliner Allee 52, LTE-System 2600 MHz. Dargestellt sind die Messergebnisse direkt unter der Anlage, im Nachbargebäude und an einem Außenmesspunkt (Boden).



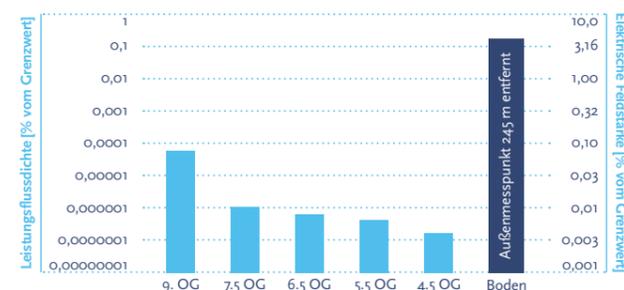
Dämpfung von Mobilfunkfeldern

Baumaterialien und Topografie schwächen die Energie von Mobilfunkfeldern

In geschlossenen Räumen sind die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks in der Regel schwächer als an Außenmesspunkten. Der Grund: Baumaterialien wie Ziegel, Beton und Stahl haben einen starken Dämpfungseffekt. Wer schon einmal mit seinem Handy in einem Altbau oder in einem modernen Stahlbetongebäude telefoniert hat, kann diesen Effekt selbst bestätigen. Der Empfang in solchen Gebäuden ist wesentlich schlechter als im Freien. Denn ein dickes Mauerwerk oder eine Stahlarmierung absorbieren einen großen Teil der Energie von Mobilfunkfeldern.

Wie hoch die Dämpfung ist, hängt unter anderem von der Frequenz des Mobilfunks ab. Generell gilt: Je höher die Frequenz, desto stärker ist der Dämpfungseffekt. Aber auch die verwendeten Baumaterialien spielen eine Rolle. Ein thermobeschichtetes Fenster schwächt die Felder weitaus stärker ab, als normales Fensterglas. Auch im Freien kann es zu Absorptionseffekten kommen: Speziell im Sommer beeinflusst das Blätterwerk von Bäumen und Sträuchern das Ausbreitungsverhalten von Mobilfunkfeldern. Und natürlich spielt auch die umgebende Bebauung eine wichtige Rolle.

26 BImSchV LTE-System 2600 MHz



Beispiel München: Georg-Brauchle-Ring 23 - 25, LTE-System 2600 MHz. Dargestellt ist die Immissionsabnahme im Gebäude sowie die auftretende Immission an einem Außenmesspunkt.

Wie sich der Dämpfungseffekt von LTE-Feldern innerhalb von Gebäuden auswirkt, hat das IMST in München an einem Standort am Georg-Brauchle-Ring untersucht. Auf dem Dach des Gebäudes befindet sich eine LTE-Sendeanlage im Frequenzbereich 2600 MHz. Die Ingenieure stellten fest, dass die Immissionen dieser Anlage innerhalb des Gebäudes von Stockwerk zu Stockwerk abnehmen. So erreicht die Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Leistungsflussdichte im 9. Obergeschoss 0,00005 Prozent. Über die Stockwerke nimmt sie kontinuierlich ab und sinkt bis zum 4. OG auf nur 0,000002 Prozent. An einem Außenmesspunkt in direkter Hauptstrahlrichtung zur Sendeanlage ermittelte das IMST in 245 Meter Entfernung eine Grenzwertausschöpfung der Leistungsflussdichte von 0,177 Prozent. Doch auch dieser Messwert liegt deutlich unter den vorgeschriebenen Grenzwerten.

Fazit: Innerhalb von Gebäuden sind Mobilfunkfelder schwächer als an Außenmesspunkten. Sie nehmen in der Regel kontinuierlich über die Stockwerke ab. Der Grund: Baumaterialien wie Stahlbeton, thermobeschichtetes Glas oder Holz schwächen die Mobilfunkfelder ab. Doch auch im Freien kann es durch die umgebende Bebauung oder Bäume zu Dämpfungseffekten kommen.

Feldverteilung verschiedener Mobilfunkdienste

Vergleichbares Verhalten von LTE-, UMTS- und GSM-Feldern

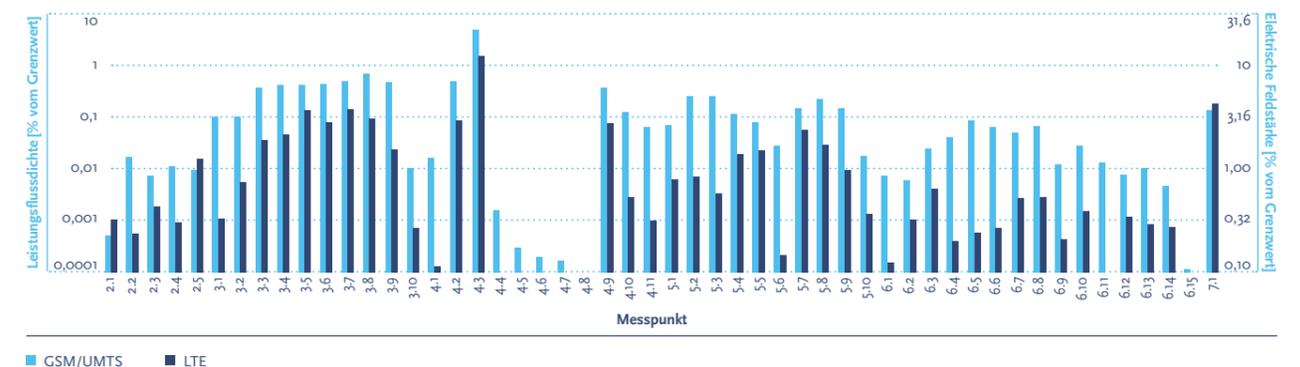
Zu den zentralen Fragen der Pilotstudie zur Abschätzung der „Exposition der Bevölkerung durch LTE-Sendeanlagen“ gehörte auch die Untersuchung der verschiedenen Mobilfunkdienste. Wie sind die Immissionen von LTE-Sendeanlagen in Relation zu den bisher umfassend untersuchten Mobilfunkfeldern von UMTS- und GSM-Sendeanlagen einzuschätzen? Um einen direkten Vergleich zu ziehen, hat das IMST an allen Standorten, an denen neben LTE-Sendeanlagen auch andere Mobilfunkdienste in Betrieb waren, deren Immissionen mitgemessen. Die Ergebnisse belegen, dass sich die Technologien zwar in Bezug auf das Übertragungsverfahren unterscheiden, ihre Wellenausbreitung aber vergleichbar ist.

Aufgrund ihrer Frequenznähe und der verwendeten Antennen und Sendeleistungen gelten die auf den vorhergehenden Seiten dargestellten Szenarien zum Ausbreitungsverhalten elektromagnetischer Felder im Nahbereich, zur Abstrahlcharakteristik und zu Effekten der Gebäudedämpfung gleichermaßen für LTE-, UMTS- und GSM-Netze.

Beim statistischen Vergleich der Standorte, an denen sowohl LTE-Systeme als auch andere Mobilfunkdienste betrieben werden, dominiert abhängig von der örtlichen Situation die Immission des einen oder anderen Mobilfunkdienstes. Erfolgt der Vergleich grenzwertbezogen, zeigt sich, dass derzeit an der überwiegenden Mehrzahl der untersuchten Messpunkte die Immissionen der LTE-Sendeanlagen geringer sind, als die der UMTS- und/oder GSM-Sendeanlagen. Dabei bleibt natürlich anzumerken, dass sich der Ausbau der LTE-Netze derzeit erst in der Pilotphase befindet. Allerdings lässt sich aus den Ergebnissen der Studie bereits jetzt abschätzen, dass sich auch nach einem flächendeckenden Ausbau die Immission durch LTE-Sendeanlagen nicht gravierend von den Immissionen der etablierten GSM- und UMTS-Sendeanlagen unterscheiden wird.

Fazit: Aufgrund ihrer Frequenznähe ist die Wellenausbreitung von LTE-, UMTS- und GSM-Antennen vergleichbar. An einzelnen Standorten trägt abhängig von der örtlichen Situation einmal die eine, ein anderes Mal die andere Technologie mehr zur Gesamtimmision bei. Auch durch einen weiteren Ausbau der LTE-Netze werden die zulässigen Grenzwerte nur zu einem Bruchteil ausgeschöpft.

26. BImSchV Immissionen von LTE-Systemen im Vergleich zu UMTS- und GSM-Systemen



Relation der Immissionen an 52 Messpunkten, an denen neben LTE auch GSM- und/oder UMTS-Sendeanlagen in Betrieb waren.

Einflussfaktoren für elektromagnetische Felder von LTE-Sendeanlagen und die Gesamtimmission vor Ort

Statistische Auswertung der Messwerte

Die Auswertung der LTE-Messungen zeigt, dass die Immissionen durch LTE-Sendeanlagen an allen 77 Messpunkten die geltenden Grenzwerte erheblich unterschreiten. Selbst mit Hochrechnung auf eine theoretische Maximalauslastung der Anlagen liegt die Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Leistungsflussdichte an 99 Prozent der Messpunkte unter einem halben Prozent.

Wie sich die Grenzwertausschöpfung prozentual zu den einzelnen Messpunkten verhält, verdeutlicht das nachstehende Diagramm.

Der höchste Wert wurde an einem Messpunkt in Düsseldorf ermittelt. Dort wurde in Hauptstrahlrichtung zu einer 31 m entfernten Anlage auf dem Dach einer Parkgarage mit Sicht auf die Anlage ein hochgerechneter Wert von 1,49 Prozent Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Leistungsflussdichte bzw. 12,27 Prozent Grenzwertausschöpfung bezogen auf die elektrische Feldstärke ermittelt. Den Minimalwert der Pilotstudie erhoben die Ingenieure im Rah-

men einer Inhouse-Messung in Stuttgart. Dort ermittelten sie eine Grenzwertausschöpfung von 0,0000003 Prozent bezüglich der Leistungsflussdichte bzw. 0,002 Prozent bezüglich der elektrischen Feldstärke.

Damit bestätigen die Ergebnisse der LTE-Pilotstudie, dass die zu erwartenden Expositionen der Bevölkerung durch den Ausbau der LTE-Netze voraussichtlich nur Bruchteile des gesetzlichen Grenzwertes ausschöpfen werden.

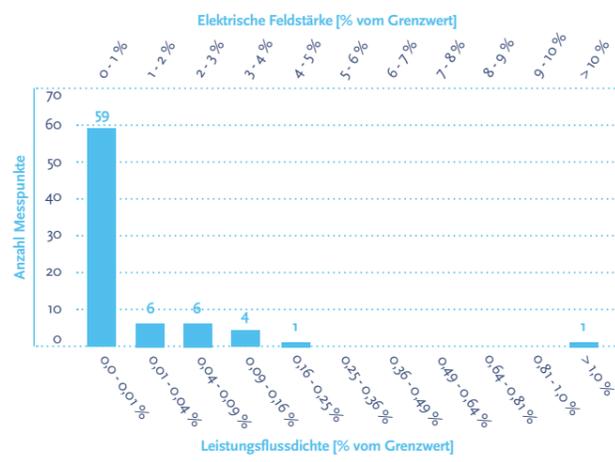
Immissionsprognose

Aufgrund ihrer Frequenznähe und der verwendeten Antennen und Sendeleistungen gelten für LTE-Netze in Bezug auf das Ausbreitungsverhalten elektromagnetischer Felder im Nahbereich, die Abstrahlcharakteristik und auf Effekte der Gebäudedämpfung vergleichbare Gesetzmäßigkeiten wie für UMTS- und GSM-Netze. Damit reihen sich die Ergebnisse der LTE-Pilotstudie in die vom IZMF schon früher für GSM- und UMTS-Sendeanlagen initiierten landesweiten Messreihen und Immissionsauswertungen in Nordrhein-Westfalen (2003), Hessen (2004), Niedersachsen (2005), Thüringen (2006), Sachsen (2007), Sachsen-Anhalt (2008) und Bayern (2009) ein.

Insgesamt zeigt die statistische Auswertung der Messergebnisse, dass bei einer Prognose der an einem Messpunkt vorliegenden Immissionssituation stets verschiedene Einflussfaktoren berücksichtigt werden müssen. Es ist notwendig, die verschiedenen Phänomene zu kennen und ihre Wirkung miteinander zu verzahnen.

| Folgende Parameter haben Einfluss auf die Immissionslage an einem bestimmten Ort | Daraus ergeben sich folgende Konsequenzen für die tatsächliche Immissionsituation vor Ort |
|--|--|
| Entfernung von der Mobilfunksendeanlage | Ein geringer Abstand hat nicht zwangsläufig höhere Immissionen zur Folge. Der Abstand zu einer Mobilfunkanlage ist deshalb kein zuverlässiges Kriterium für die Abschätzung der Immissionen. |
| Höhenunterschied und Ausrichtung der Antenne | Die Immission an einem Messpunkt ist speziell im Nahbereich weniger von der Entfernung, sondern eher von der Abstrahlcharakteristik der Antenne und der Höhe des Messpunktes abhängig. |
| Dämpfung von Mobilfunkfeldern | Innerhalb von Gebäuden sind Mobilfunkfelder schwächer als an Außenmesspunkten in vergleichbarer Entfernung und Höhe. |
| Vergleichbares Verhalten von LTE-, GSM- und UMTS-Feldern | Aufgrund ihrer „Frequenznähe“ ist die Wellenausbreitung von LTE-, UMTS- und GSM-Antennen vergleichbar. Die Gesetzmäßigkeiten zum Ausbreitungsverhalten der elektromagnetischen Felder gelten daher für diese Technologien gleichermaßen. |

26. BImSchV prozentuale Verteilung der LTE-Messpunkte



Mobilfunk und Gesundheit

Die meisten Kinder, Jugendlichen und Erwachsenen in Deutschland besitzen ein Handy. Weltweit – angefangen von entwickelten Industriestaaten bis hin zu den ärmsten Regionen der Welt – sind Mobilfunknetze verfügbar, die Netzabdeckung liegt bei 90 Prozent.

Es ist verständlich, dass diese enorme Verbreitung der Mobilfunktechnologie neben ihrem Nutzen auch Befürchtungen über gesundheitliche Auswirkungen bei den Menschen hervorbringt.

Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm: Grenzwerte bestätigt

Natürliche und technisch erzeugte elektromagnetische Felder sind ein untrennbarer Bestandteil unserer Umwelt. Ihre potenziellen biologischen Wirkungen sind seit Jahrzehnten Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen, auf denen letztlich auch die Sicherheitsbestimmungen für den Mobilfunk basieren. Sie werden regelmäßig von nationalen und internationalen Fachgremien überprüft und haben sich bisher als effizienter Schutz für die Bevölkerung erwiesen. Allerdings gibt es nach wie vor einige offene Fragen zum Thema „Mobilfunk und Gesundheit“. Auch fehlt zu manchen abgeschlossenen Studien noch die Bestätigung der Ergebnisse durch vergleichbare Projekte anderer Forschergruppen. Seit einigen Jahren sind besonders starke Anstrengungen zu beobachten, diese Wissenslücken zu schließen.

So initiierte im Jahre 2002 das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit das „Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm“ (DMF). Rund 50 Forschungsvorhaben in den Disziplinen Biologie, Medizin, Dosimetrie, Epidemiologie und Risikokommunikation untersuchten elektromagnetische Hochfrequenzfelder auf potenziell gesundheitsrelevante Effekte. Auch wurde überprüft, ob es Personen gibt, die über eine besondere „Elektrosensibilität“ verfügen, also schwache Mobilfunkfelder wahrnehmen können. Die Ergebnisse wurden 2008 im Rahmen der internationalen DMF-Abschlusskonferenz vorgestellt. Aus der Gesamtschau dieser Ergebnisse heraus konnten keine Verdachtsmomente

im Zusammenhang mit Krebserkrankungen oder unspezifischen Gesundheitsproblemen wie Kopfschmerzen und Schlafstörungen bestätigt werden. Auch die vermeintliche „Elektrosensibilität“ ließ sich in Doppelblindversuchen nicht nachweisen.

Interphone-Studie: Kein erhöhtes Gehirntumorrisiko für Handynutzer

Auf internationaler Ebene wurden jüngst die Ergebnisse der im Jahre 2000 gestarteten WHO-Studie INTERPHONE präsentiert, die rund 5.000 Patienten mit Hirntumoren analysiert hat. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist ein erhöhtes Risiko für die Bildung von Hirntumoren im Zusammenhang mit Mobilfunkfeldern nicht zu befürchten. Allerdings waren die Nutzungszeiten auf einen Zeitraum bis zu 12 Jahren beschränkt. Um auch längere Expositionszeiträume abzusichern, wurde im Frühjahr 2010 von britischen Wissenschaftlern das Projekt COSMOS (Cohort Study on Mobile Communications) gestartet. Es ist geplant, über einen Zeitraum von 20 - 30 Jahren rund 250.000 Handynutzer in Europa auf gesundheitliche Abweichungen verschiedenster Art zu beobachten. Hierzu gehören neben Hirntumoren auch Schlafstörungen, Depressionen, Kopfschmerzen und Tinnitus.

Weitere Studien folgen

Ein Thema, das uns an der Deutschen Akademie für Kinder- und Jugendmedizin (DAKJ) bzw. der Kinderumwelt – kinderärztliche Beratungsstelle – besonders am Herzen liegt, ist die Frage, ob Kinder empfindlicher auf Mo-

bilfunkfelder reagieren. Auch der wissenschaftliche Ausschuss „Neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken“ (SCENIHR) der EU-Kommission sieht hier noch weiteren Forschungsbedarf. Die EU stellt deshalb Mittel zur Finanzierung einer Multi-Center-Studie namens MOBI-KIDS zur Verfügung. Sie untersucht seit 2009, ob die neuen Kommunikationstechnologien die Entwicklung von Hirntumoren bei Jugendlichen beeinflussen können. In Deutschland begleitet das Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität in München die Untersuchung. Erste Ergebnisse sollen bis zum Jahr 2015 vorliegen. Bis zur abschließenden Veröffentlichung belastbarer Studienergebnisse haben der Dachverband der deutschen Kinderärzte und das BfS vorsorgliche Empfehlungen ausgesprochen und raten Kindern zu einem umsichtigen, maßvollen Umgang mit Handys.

Immissionen durch LTE liegen weit unter den Grenzwerten

Die ständig wachsenden Anforderungen der Menschen an den mobilen Datenverkehr haben zur Entwicklung des neuen Mobilfunkstandards namens LTE (Long Term Evolution) geführt. Er erfordert zusätzlich zur Nutzung der bisherigen Basisstationen auch den Betrieb weiterer Sendeanlagen. Zur Frage der Gesundheitsverträglichkeit von LTE weist das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) darauf hin, dass die nach dem neuen Standard eingesetzten Frequenzen sehr dicht in der Nähe der bisher für Mobilfunk genutzten Frequenzbänder liegen. Es ist daher davon auszugehen, dass sich ihre biologischen und medizinischen Wirkungen nicht grundsätzlich unterscheiden. Das BfS

rechnet zwar insgesamt mit einem Anstieg der Immissionen, geht aber davon aus, dass diese auch nach dem LTE-Ausbau nur einen Bruchteil der gesetzlichen Grenzwerte ausschöpfen werden. Die Ergebnisse der dargestellten Messungen im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie „Abschätzung der Exposition der Bevölkerung durch LTE-Sendeanlagen“ bestätigen diese Erwartung.

Der Schutz vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Mobilfunk-Felder ist bei der Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte bereits heute mit großer Sicherheit gewährleistet. Dies gilt sowohl für die seit Jahren genutzten Übertragungsverfahren GSM und UMTS, als auch für den neuen Standard LTE.

Für eine besondere Sensibilität von Kindern gibt es derzeit keine gesicherten Hinweise. Vorsorglich wird bis zum Vorliegen weiterer belastbarer Studienergebnisse Kindern ein maßvoller Umgang mit dem Handy empfohlen.



Prof. Dr. med. Karl Ernst von Mühlendahl
Kinderarzt mit Schwerpunkt Endokrinologie und Umweltmedizin

Von 1979 bis 2001 war Prof. Dr. med. Karl Ernst von Mühlendahl Leiter des Kinderhospitals Osnabrück. Seit 1991 ist er Sprecher der Umweltkommission der Deutschen Akademie für Kinder- und Jugendmedizin (DAKJ), des Dachverbandes der Deutschen Kinderärztlichen Gesellschaften und Leiter der Dokumentations- und Informationsstelle für Umweltfragen der DAKJ (seit 2001 gemeinnützige Kinderumwelt GmbH).



Sie möchten mehr erfahren? Gemeinsam mit der gemeinnützigen Kinderumwelt GmbH hat das Informationszentrum Mobilfunk e. V. zwei Broschüren zum Thema „Mobilfunk und Gesundheit“ veröffentlicht. **Beide Broschüren können kostenlos über die gebührenfreie Hotline des IZMF 0800-330 31 33 oder unter info@izmf.de angefordert werden.**

ANSPRECHPARTNER

Informationszentrum Mobilfunk e.V. (IZMF)

Hegelplatz 1 | 10117 Berlin
Kostenfreie Hotline: 0800-330 31 33
E-Mail: info@izmf.de
Internet: www.izmf.de

Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST GmbH)

Dr. Christian Bornkessel
Carl-Friedrich-Gauß-Straße 2-4 | 47475 Kamp-Lintfort
Tel.: +49 (0)2842-981-100
Fax: +49 (0)2842-981-199
Internet: www.imst.de

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen

Tulpenfeld 4, 53113 Bonn | Postfach 80 01, 53105 Bonn
Tel.: +49 (0)228-14-0
Fax: +49 (0)228-14-8872
E-Mail: info@bnetza.de
Internet: www.bundesnetzagentur.de

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49 | 38201 Salzgitter
Tel.: +49 (0)30-18333-0
Fax: +49 (0)30-18333-1885
E-Mail: info@bfs.de
Internet: www.bfs.de

Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung ICNIRP

c/o Bundesamt für Strahlenschutz
Ingolstädter Landstraße 1 | 85764 Oberschleißheim
Tel.: +49 (0)30-18333-2156
Fax: +49 (0)30-18333-2155
E-Mail: info@icnirp.org
Internet: www.icnirp.de

Kinderumwelt gemeinnützige GmbH

Prof. Dr. med. Karl Ernst von Mühlendahl
Westerbreite 7 | 49084 Osnabrück
Tel.: +49 (0)541-9778-900
Fax: +49 (0)541-9778-905
E-Mail: kontakt@kinderumwelt.de
Internet: www.kinderumwelt.de