Ermittlung der NIS-Exposition von Mobilfunkanlagen : Teil 2

Autor(en): **Szentkuti, Bàlint T.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **93 (2002)**

Heft 19

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-855454

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Ermittlung der NIS-Exposition von Mobilfunkanlagen – Teil 2

Im ersten Teil dieser zweiteiligen Beitragsfolge wurden einige Grundsätze der Wellenausbreitung in der Mobilkommunikation vorgestellt, die wichtigsten Begriffe eingeführt und die verschiedenen NIS-Grenzwerte beschrieben und miteinander verglichen. Im vorliegenden zweiten Teil werden nun verschiedene Methoden zur Berechnung und zur Messung der Expositionen diskutiert und die dabei auftretenden Unsicherheiten erörtert. Ein kurzer Ausblick auf zukünftige Technologien, wie etwa UMTS, beschreibt schliesslich neue Anforderungen an die Definition der Grenzwerte und Messmethoden.

In der Nähe der Antenne befinden sich meistens wenige Hindernisse und somit wenige andere starke Wellenkomponenten, so dass der direkte Strahl dominiert. Das resultierende Feld bleibt damit «ruhig»; hier weicht es noch wenig vom Modell der Freiraumwelle ab. Mit zunehmender Entfernung spielen indirekte Strahlen eine immer grössere Rolle. In

Bàlint T. Szentkuti

Abschattungen gibt es sogar nur noch reflektierte, gedämpfte und gebeugte Wellenkomponenten (Punkt B_2 Bild 3). Die Abweichung von der Freiraumausbreitung wird also mit zunehmender Distanz von der Antenne immer grösser, das Feld immer «unruhiger» (Bild 5). Besonders komplizierte Verhältnisse herrschen in Innenräumen. Meist müssen hier, falls es sich um Orte mit empfindlicher Nutzung handelt, die Anlagegrenzwerte überprüft werden.

Rechnerische Ermittlung der NIS-Exposition

Freiraum-Approximation: hinreichend für die Verifikation der Immissionsgrenzwerte

Eine exakte analytische Berechnung der NIS-Exposition in realer Umgebung ist nicht durchführbar. Bei direkter Sichtverbindung und in nicht allzu grosser Entfernung von der Antenne – an Orten also, wo der direkte Strahl noch dominiert – ist allerdings die Freiraumapproximation gemäss Bild 1 gut anwendbar. Wie Tabelle II zeigt, ist der Immissionsgrenzwert wenige Meter von der Antenne entfernt bereits erfüllt. Zu seiner Verifikation ist also die Approximation zulässig.

Schwieriger ist es, mit dieser Methode die um 20 dB tieferen Anlagegrenzwerte an Orten mit empfindlicher Nutzung zu verifizieren. Einerseits ist die Freiraumapproximation in diesen Distanzen meist mit grösseren Fehlern behaftet und anderseits liegen die zu überprüfenden Orte oft innerhalb von Gebäuden, wo die Unsicherheiten noch grösser sind, wie dies später noch erörtert wird.

Ray-Tracing: für genauere Resultate

Ray-Tracing (Strahlenverfolgungsverfahren) ist eine numerische Methode, die dem Konzept von Bild 3 folgt und im Beobachtungspunkt möglichst viele der relevanten Strahlen berücksichtigt. Beugung, Reflexion und Dämpfung werden auf Grund von Theorie und Erfahrung behandelt. Sowohl die Eingabe der Randbedingungen (Geländedaten, Gebäudegeometrien usw.) als auch der Rechenvorgang sind aufwändig und begrenzen die Genauigkeit, die zwar wesentlich besser ist als bei der Feiraumapproximation und sich zudem mit zusätzlichem Aufwand erhöhen lässt, die aber auch tendenziell mit der Entfernung von der Antenne abnimmt. Die Verifikation der tieferen Anlagegrenzwerte ist also wesentlich aufwändiger als jene der Immissionsgrenzwerte in der Nähe der Antenne.

Zur Erhöhung der Effizienz bzw. zur Minderung des Rechenaufwandes können horizontale und vertikale zweidimensionale Modelle kombiniert werden [8]. Gut brauchbare echte 3D-Modelle sind erst seit kurzem auf dem Markt und bedeuten einen Quantensprung gegenüber früheren Produkten. Ein solches Werkzeug ist äusserst leistungsfähig, wie dies Bild 6 eindrücklich illustriert. In diesem Bild ist auch erkennbar, wie schnell mit der Entfernung von der Antenne das einfache Freiraummodell versagt: Die nicht allzu weit von der Antenne entfernte Fassade «F» ist offenbar stark inhomogen «beleuchtet», insbesondere nimmt die Exposition nicht monoton mit der Höhe zu.

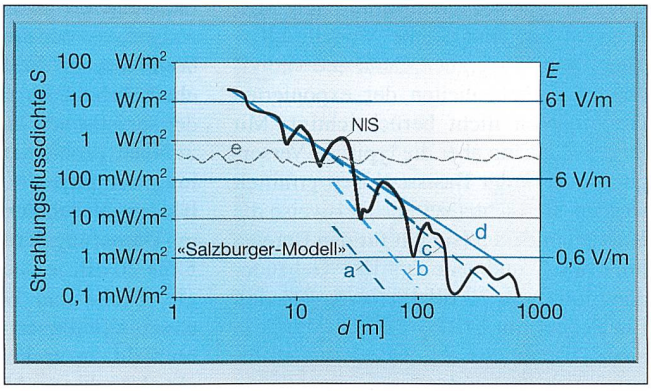

Bild 5 Typischer Verlauf der Strahlungsflussdichte *S* in Funktion des Abstandes *d* von der Antenne

EIRP = 2 kW. a, b, c: Empirische Modelle für dichte städtische Bebauung; a, b: keine Sichtverbindung, Feldstärken auf Strassen und auf Obergeschosshöhen (Nähe Dach); c: Sichtverbindung; d: Approximation mit Freiraumformel (Gleichungen in Bild 1); NIS: Exposition aus der GSM-Anlage (qualitativ, Verlauf vom Beobachtungsweg abhängig); e: Fremdstrahlung (qualitativ), z.B. Telepage[15], ISM-Gerät[16], GSM-Handy.

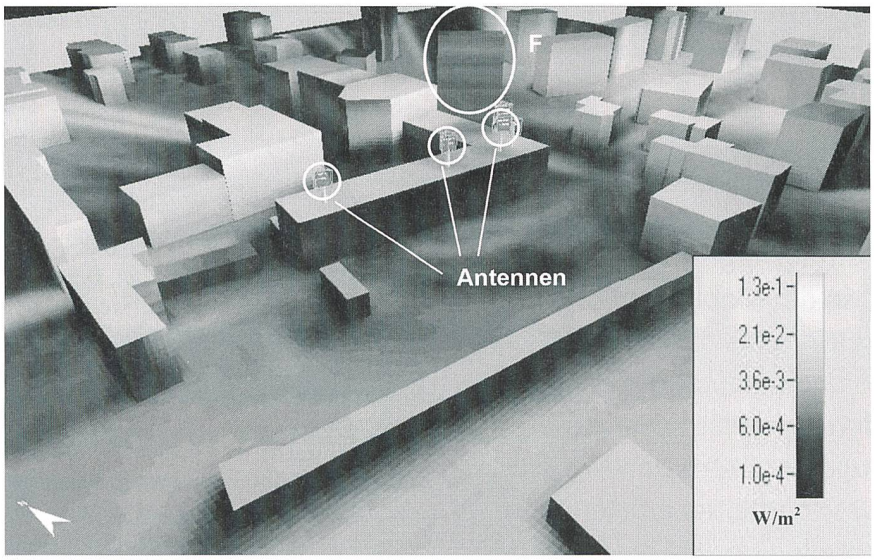

Bild 6 NIS-Expositionen in einem städtischen Gebiet

Modellierung mit dem Ray-Tracing-Verfahren [7]. Die Feinstruktur der Strahlungsflussdichte ist nicht dargestellt. Man beachte an der Fassade «F» die starke Inhomogenität der Strahlungsflussdichte als Folge der Mehrwegausbreitung.

Empirische Modelle: für die Funkplanung

Die auf der statistischen Auswertung umfangreicher Messkampagnen und praktischer Erfahrung bezüglich lokaler Gegebenheiten basierenden empirischen Berechnungsmodelle sind beliebt und genügen vollauf in der Funkplanung [9]. Aus Eingangsgrössen wie etwa Entfernung, Sende- und Empfangsantennenhöhe, typische Gebäudehöhen und Strassenbreiten ergibt sich der empirische Wert für die Strahlungsflussdichte. Bei guten Modellen beträgt die Standardabweichung zwischen Voraussage und tatsächlichem Wert im Freien weniger als 10 dB.

In Bild 5 sind einige Fallbeispiele angegeben. Für die Überprüfung von NIS-Grenzwerten sind solche Modelle allerdings kaum geeignet, denn die individuellen Gegebenheiten der exponierten Orte werden nicht berücksichtigt. Mit ihrer Hilfe kann aber die typische Versorgungsgrenze der Basisstationen ermittelt werden. Betrachtet sei beispielsweise die Kurve a in Bild 5 (sie gilt für den Bereich im Freien) und eine mittlere Gebäudedämpfung von 20 dB (mehrere Wände). Ein Sender mit EIRP = 300 W erzeugt in einer Distanz von d = 500 m und im Inneren von Gebäuden noch eine Strahlungsflussdichte von etwa 50 pW/m². Dies ist die Versorgungsgrenze für angemessene Empfangsqualität. Mit EIRP = 300 W pro Trägerfrequenz wurde das in Tabelle II dargestellte Beispiel betrachtet (bei der angenommenen Anlagenleistung von EIRP = 2 kW wurde vorausgesetzt, dass etwa drei Netzbetreiber mit je drei bis vier Trägerfrequenzen arbeiten).

Unsicherheiten in der Berechnung

Die Zuverlässigkeit der Rechenergebnisse ist nicht nur eine Frage des mathematischen Modells. Eine noch so gute 3D-Ray-Tracing-Methode hat – selbst bei noch so sorgfältiger Eingabe der Gebäude- und Geländedaten – ihre Grenzen, denn die elektrischen Parameter der betroffenen Objekte sind nicht genau bekannt. Die Modelle rechnen deshalb mit typischen mittleren Werten der Dielektrizitätszahl (ε_r) und der Leitfähigkeit (σ) der Materialien, welche Reflexion und Dämpfung wesentlich mitbestimmen. Deshalb wird die Unsicherheit in der Berechnung vor allem an jenen Orten stark steigen, wo der direkte Strahl nicht mehr dominiert. Im Freien dürfte diese Unsicherheit bald vergleichbar sein mit jener der statistischen Modelle (10 dB).

Noch problematischer ist die Ermittlung der Exposition innerhalb von Gebäuden. Neben der nur ungefähr bekannten Dämpfung der Aussenmauer (typisch: 5 bis 20 dB, je nach Material, Technologie, Dicke und Einfallswinkel) ist mit einem kompliziert strukturierten Interferenzfeld zu rechnen, verursacht durch eine Unzahl von Mehrfachreflexionen an Wänden, Decken und Böden sowie an Einrichtungen. Sind Fenster vorhanden, so kann der Strahl durch ein offenes oder herkömmliches Fenster dominieren, denn diese dämpfen wenig. Wärmeschutzgläser haben typischerweise 20 bis 40 dB Dämpfung. Wegen der zu wenig genau bekannten Daten sind – vor allem an Orten mit fehlender Sichtverbindung zur Antenne – Berechnungsfehler in der Grössenordnung von 10 bis 20 dB (zehn bis hundertfache Strahlungsflussdichte) durchaus denkbar.

Ausserhalb der Hauptstrahlungsrichtung der Antennen ist eine weitere potenzielle Fehlerquelle zu beachten: Diese Bereiche des Antennendiagramms (Bild 1) sind meist nur ungenau spezifiziert, mit Angabe der minimalen Abschwächung der Nebenzipfel gegenüber dem Gewinn G_0. Daraus resultiert in der Regel eine Überschätzung der Exposition in diesem Winkelbereich.

Messtechnische Ermittlung der NIS-Exposition

Anforderungen an die Messtechnik

Die richtige messtechnische Bestimmung der Exposition an einem Ort empfindlicher Nutzung ist meist nicht minder anspruchsvoll als eine zuverlässige rechnerische Voraussage. Gemäss Messempfehlung [10] ist das absolute räumliche und zeitliche Maximum zu ermitteln. Bei der Überprüfung der niedrigen Anlagegrenzwerte wird meistens in Innenräumen gemessen, wo das komplizierte Interferenzfeld mit den vielen Minima und Maxima die Suche erschwert. Die gesamte Strahlungsflussdichte ist zudem abhängig vom Funkverkehr, d.h. von der momentanen Auslastung der Mobilfunkanlage und ist somit zeitlichen Schwankungen unterworfen: $S = S(t)$. Deshalb werden soweit möglich nur die zeitlich stabilen Steuerkanäle des Funksignals[14)] erfasst und anschliessend auf Vollauslastung der Anlage hochgerechnet. Der unerlässliche funktechnische Hintergrund sowie Anforderungen an die Messmethoden sind in [10] gut beschrieben. Grundsätzlich kann breitbandig oder frequenzselektiv gemessen werden.

Einfache Breitbandmethode: geeignet für die Überprüfung der Immissionsgrenzwerte

Die breitbandige Messung erfolgt recht schnell mit einer kostengünstigen und handlichen isotropen «Breitbandsonde». Diese erfasst die einfallende Strahlung aus allen Richtungen und von allen Mobilfunkkanälen gleichzeitig (Bild 7). Es sind lediglich die drei Raumkoordinaten abzusuchen. Solche Sonden haben allerdings folgende Nachteile:

- oft ungenügende Empfindlichkeit im Pegelbereich der Anlagegrenzwerte;
- Erfassung fremder, nicht zu berücksichtigender Sender wie etwa Telepage[15)], GSM-Handies, Schnurlostele-

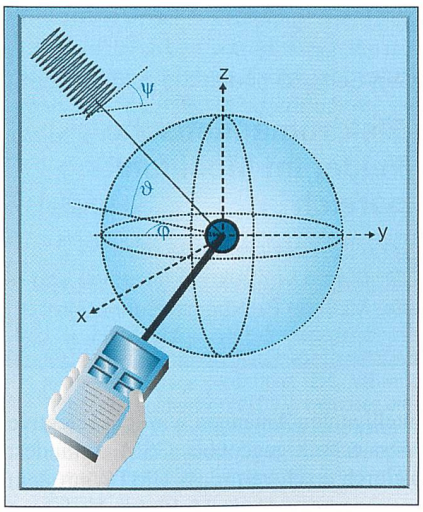

Bild 7 Messung mit isotroper Breitbandsonde

Die Sonde empfängt die Strahlung gleichzeitig aus jeder Richtung (Azimut φ und Elevation ϑ) und mit jeder Polarisation (ψ)

fone, industrielle und medizinische Hochfrequenzgeräte (ISM)[16), 17)];
- schwierige Unterscheidung zwischen zeitlicher und örtlicher Variation der Strahlung bei der Maximumsuche;
- allzu pessimistische Hochrechnung auf Vollbetrieb der Sendeanlage (keine frequenzselektive Analyse der stabilen Steuerkanäle).

Diese Nachteile zeigen sich meistens bei der Überprüfung der relativ tiefen Anlagegrenzwerte. Häufig ist keine zuverlässige Aussage möglich [10]. Hingegen ist die Verifikation der höheren Immissionsgrenzwerte in der Nähe der Mobilfunkantennen meist problemlos durchführbar (Bild 5). Die erwähnten Nachteile fallen hier weg, denn die Sonde ist genügend empfindlich für diese Expositionen; die meisten Fremdsignale liegen unter den zu messenden Immissionsgrenzwerten; die örtliche Variation des Feldes ist schwach, und trotz pessimistischer Hochrechnung auf Vollbetrieb der Anlage ist genügend Reserve zur Verifikation der «Schutzdistanz» zur Antenne vorhanden.

Aufwändige frequenzselektive Messung: für niedrige Expositionen

Die frequenzselektive Messung schliesst unerwünschte Fremdsignale aus und erlaubt die individuelle Messung der stabilen Steuerkanäle. Damit fällt auch die bei der räumlichen Maximumsuche so lästige zeitliche Variation der Signale weg, ferner wird eine genaue Hochrechnung auf Vollbetrieb möglich. Es lassen sich wesentlich tiefere Grenzwerte überprüfen als mit der Breitbandmethode [14]. Nachteile der Selektivmethode sind:
- aufwändige Messinfrastruktur (meist Spektrumanalysator oder Messempfänger mit daran angeschlossener externer Antenne (Bild 8);
- gegenüber der Breitbandmethode wesentlich höhere Anforderungen an das messtechnische Know-how des Personals (anspruchsvolle Messinstrumente);
- komplizierte Suche des örtlichen Maximums, da keine isotropen Antennen für frequenzselektive Messungen existieren. Deshalb sind nicht nur – wie bei der Breitbandmethode – die drei Raumkoordinaten, sondern auch die drei weiteren Freiheitsgrade mühsam abzutasten (Azimut φ, Elevation ϑ und Polarisation ψ der Welle).

Messunsicherheit

Jede Messung ist mit einer Unsicherheit behaftet. Bei NIS-Messungen ist es sinnvoll, diese Unsicherheiten nach folgenden Ursachen klar zu unterscheiden [11]:
- Unsicherheit der Messeinrichtung: Diese ist weit gehend durch Kalibrierung und Qualität der Apparaturen bestimmt. Sie lässt sich mit vernünftigem Aufwand in der Nähe von 3 dB eingrenzen, was einem Faktor 2 bei der Strahlungsflussdichte entspricht. Gemäss [10] ist eine instrumentelle Messunsicherheit innerhalb des Bereichs –3,5/+2,5 dB zulässig.
- Unsicherheit der «Probenahme» (Maximumsuche): Diese hängt stark von menschlichen Komponenten wie Erfahrung, Geschick und Geduld des Messpersonals ab. Während einer Messkampagne haben die daran beteiligten Labors für die Unsicherheit der Maximumsuche 0,5 bis 4 dB angegeben [12], was einem Faktor 1,1 bis 2,5 in der Strahlungsflussdichte entspricht. Gemäss [10] ist eine Messunsicherheit der Probenahme von –3 bis +2,3 dB zulässig, was eher realistisch sein dürfte.
- Schwankung der NIS-Exposition: Diese Unsicherheit kann die oben genannten «echten» Messunsicherheiten übertreffen und wird weiter unten detailliert behandelt.

Auch bei NIS-Expositionen: Gleiches mit Gleichem vergleichen

Widersprüchliche Aussagen über bestehende Expositionen oder über die Möglichkeit, gewisse Grenzwerte einzuhalten – insbesondere bei Diskussionen über Landesgrenzen hinweg – sind oft in missverständlicher Kommunikation begründet. Bei der Interpretation der Aussagen sind mögliche Unterschiede in den Messvorschriften und Grenzwertphilosophien zu berücksichtigen. Zumindest folgende Gesichtspunkte verdienen eine Klärung, bevor Daten aus verschiedenen Quellen miteinander verglichen werden:
- Messgeräte: Welche Typen wurden verwendet? Mit welchen Einstellungen wurde gearbeitet (Bandbreiten, Abtastgeschwindigkeiten, Detektorfunktionen usw.)?
- Messunsicherheit: Welche Parameter wurden berücksichtigt? Wie gross war die tatsächliche Unsicherheit? Wie wurde sie bei der Beurteilung der Ergebnisse verrechnet (zulasten oder zugunsten der Anlage oder aber «shared risk», d.h. keine Verrechnung)?
- Messort (Position der Antenne im Raum): Wurde der Ort maximaler Strahlungsflussdichte gesucht oder nur ein typischer Ort im Raum vermessen?
- Messwert: Wurde der maximal gemessene Wert oder der räumlich gemittelte Wert angegeben?
- Beiträge verschiedener Frequenzen: Wurden die ermittelten maximalen Strahlungsflussdichten verschiedener Frequenzen aufaddiert, auch wenn die Maxima örtlich nicht zusammenfallen?
- Strahlung der Mobilfunkanlage: Ist die angegebene Exposition eine Hochrechnung auf konzessionierte Maxi-

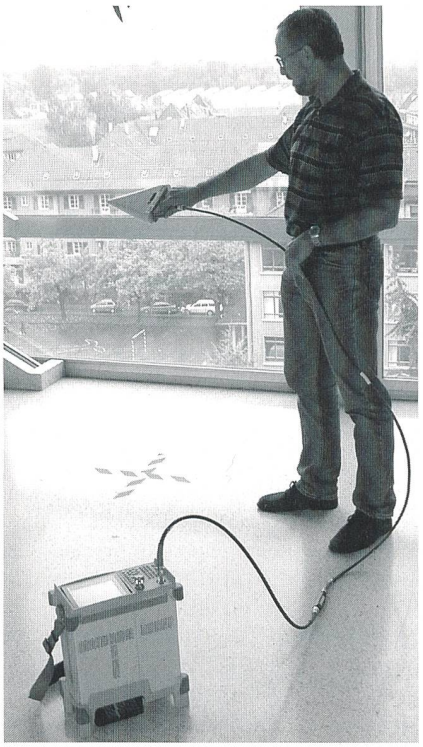

Bild 8 Frequenzselektive Messung mit externer Antenne und Spektrumanalysator

Die Messperson muss mittels Schwenkung und Drehung der Antenne auch die Richtungs- und Polarisationswinkel der Welle überall sorgfältig abtasten (Bild aus [7]).

malleistung, auf die gegenwärtig installierte Leistung oder entspricht sie dem momentan gemessenem oder dem typischen Verkehr?
- Interpretation der Grenzwerte: Gelten sie für einzelne Netzbetreiber, für einzelne Antennen oder für alle Antennen im engen räumlichen Zusammenhang (Anlagedefinition in [4])?

Schwankung der NIS-Exposition

Die Schwankung der NIS-Exposition selber liefert oft den grössten Beitrag zur Unsicherheit und nicht etwa die begrenzte Genauigkeit der Berechnung bzw. der Messung. Wie bereits erläutert, setzt sich das resultierende Feld ausser aus dem direkten Strahl – sofern dieser überhaupt vorhanden ist – auch aus den reflektierten, gedämpften und gebeugten Strahlen am Beobachtungspunkt zusammen. Ändern sich nun die Randbedingungen, d.h. die geometrischen bzw. elektrischen Eigenschaften jener Objekte, welche diese Strahlen auf diesem Wege beeinflussen, so ändert sich auch die resultierende Exposition. Einige Ursachen für diese Schwankungen sind beispielsweise:
- Änderung der geometrischen Randbedingungen im Freien: Fahrzeuge, Krane, Bäume im Wind, neu errichtete Bauten;
- Änderung der geometrischen Randbedingungen im Gebäude: Fenster und Türen (Änderung der Dämpfung durch Öffnen und Schliessen; Änderung der Reflexion je nach Anstellwinkel), Aufzüge, Änderung der Möblierung, sich bewegende Personen und Tiere. All diese Änderungen wirken sich auch auf Nachbarräume aus, solange die Wanddämpfung nicht zu gross ist;
- Änderung der elektrischen Randbedingungen: Wasser, Schnee und Eis auf Strassen und Dächern; unterschiedliche Feuchtigkeit von Vegetation und Erdboden.

Die relative Änderung der Exposition ist dort am grössten, wo die Sichtverbindung zur Antenne und somit der direkte Strahl fehlt, also an Orten mit eher niedriger Exposition. Hierbei sind Änderungen von 10 dB (zehnfache Strahlungsflussdichte) keine Seltenheit.

Ebenfalls in die Kategorie «unstabile Wellenausbreitung» gehören Veränderungen des Antennenstrahlungs-Diagramms. Dies ist durch unbeabsichtigte mechanische Verstellung bei Montagearbeiten oder durch Wettereinwirkung (Schnee und Windlast als mechanische Kraft oder Einfluss von Nässe auf die elektrischen Eigenschaften der Antennenverkleidung) möglich. Zwar sind diese Effekte schwach, solange die beabsichtigte Hauptstrahlungsrichtung betrachtet wird, doch können sie auch ausgeprägt sein, wenn sich der Beobachtungspunkt in einem Winkel zur Antenne befindet, bei dem sich das Strahlungsdiagramm (Bild 1) stark ändert, d.h. an den Flanken der Hauptkeule und der vielen Nebenzipfel. Die Erfahrung zeigt, dass in solchen Fällen Schwankungen von über 10 dB durchaus möglich sind. Diese Flanken und Nebenmaxima des Antennendiagramms können oft Orte mit empfindlicher Nutzung betreffen, wo der Anlagegrenzwert überprüft werden müsste, so z.B. unter der Antenne.

Das Wissen über diese Schwankungen der tatsächlichen Strahlung sollte helfen, die unvermeidbaren Unsicherheiten bei rechnerischer oder messtechnischer Ermittlung von NIS-Expositionen zu relativieren.

Ausblick auf neue Technologien

Die Weiterentwicklung der heutigen GSM-Technologie und insbesondere die Einführung von UMTS bringen neue Herausforderungen sowohl an die Definition von Grenzwerten als auch an die Messmethoden.

Zur Erhöhung der Effizienz und der Kapazität von GSM-Systemen werden im Ausland bereits intelligente Antennen (Smart Antennas) bei Basisstationen eingesetzt. Diese ändern ihre Hauptstrahlungsrichtung dynamisch, um das Verhältnis von Nutzsignal zu Störsignal zu optimieren. Dabei wäre an einem Ort mit empfindlicher Nutzung die Hochrechnung auf Dauerexposition mit maximaler Strahlung sicher eine auszuschliessende Hypothese. Hierzu braucht es eine neue Definition der Grenzwerte, welche zum Beispiel die Gesamtdosis über eine gewisse Zeitspanne und ein bestimmtes Raumvolumen berücksichtigt. Die messtechnische Überprüfung der Immission müsste mittels entsprechender Dosimetrie oder durch Messungen in verschiedenen, wohl definierten Betriebszuständen der Anlage erfolgen.

Bei UMTS-Systemen dürfte die NIS-Situation der Basisstationen ähnlich sein wie bei GSM-Anlagen, denn es ist mit ähnlichen Leistungen zu rechnen [2]. Allerdings ist in der Normung und der Implementierung noch einiges in Bewegung, so dass es schwierig ist, schon heute die Probleme der Grenzwerte und der Messtechnik abschliessend zu beurteilen. Neben dem möglichen Einsatz von intelligenten Antennen wird die selektive Messtechnik gegenüber GSM zumindest dadurch erschwert, dass UMTS mit dem so genannten Code-Multiplex-Verfahren arbeitet. Dabei benützen alle Kanäle die gleichen Frequenzen, was dazu führt, dass der Empfang der gewünschten leistungsstabilen Kanäle[18)] mit einem gewöhnlichen Spektrumanalysator nicht mehr möglich sein wird. Es wird ein UMTS-Messempfänger benötigt, um die Kanäle zu dekodieren und ihre Leistungen anzuzeigen.

Auf Seite 53 finden Sie zum Thema

Elektromagnetische Felder im Mobilfunkbereich

eine Diskussionsrunde mit
Dr. Martin von Allmen (Neosys) und
Dr. Michael Burkhardt (Sunrise)

Schlussfolgerungen

Das theoretische Know-how und die instrumentelle Infrastruktur zur Ermittlung der NIS-Exposition durch Basisstationen sind verfügbar; sie variieren von einfachen bis zu High-Tech-Methoden und -Werkzeugen. Unbekannte Parameter bei der Berechnung (Detailgeometrie und die elektrischen Eigenschaften von Objekten) oder der Aufwand bei der Messung begrenzen die Genauigkeit der Ergebnisse.

Die Berechnungs- oder Messunsicherheit nimmt mit der Entfernung von der Antenne zu. In der Nähe der Strahlungsquelle, d.h. dort, wo die Immissionsgrenzwerte erfüllt werden, liefert sowohl die einfachste Rechnung (Freiraumausbreitung) als auch eine Messung mit simplen Geräten (Breitbandsonden) brauchbare Resultate. Umgebungsbedingte Schwankungen der Exposition sind dabei vernachlässigbar.

Die tieferen Anlagegrenzwerte werden an Orten mit empfindlicher Nutzung überprüft, also weiter weg von der Antenne und meist in Innenräumen. Dabei sind aufwändigere Berechnungswerkzeuge und auch eine aufwändigere Messinfrastruktur einzusetzen und erhöhte Unsicherheiten in Kauf zu nehmen. Je nach Situation können auch die durch die Umgebung bedingten Kurz- oder Langzeitschwankungen der NIS-Exposition überwiegen. Sowohl Theorie als auch Erfahrung zeigen, dass Ungenauigkeiten von

über 10 dB in der Berechnung oder in der Reproduzierbarkeit von Messergebnissen nicht überraschend sind, dies vor allem, wenn die direkte Sichtverbindung zur Antenne fehlt.

Referenzen

[7] Bundesamt für Kommunikation (Bakom): Immissionen in Salzburg. Februar 2002, www.bakom.ch/de/funk/elektromagnetisch/immission/index.html

[8] *J. Li, J.-F. Wagen, E. Lachat*: Propagation over rooftop and in the horizontal plane for small and micro-cell coverage predictions. IEEE, Vehivular Technology Conference (VTC'97), www.ieee.org

[9] COST action 231: Digital mobile radio towards future generation systems. Final report. European Communities, 1999, www.cordis.lu/cost/src/tis-thome.htm

[10] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Buwal), Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (Metas): Mobilfunk-Basisstationen (GSM), Messempfehlung. 2002, www.elektrosmog-schweiz.ch/vollzug/mobilfunk

[11] *H. Ryser*: Kommentare während des Workshops vom 2.4.2002 zu [12]

[12] *[12] H. Ryser:* Vergleichsmessungen an Mobilfunk-Basisstationen. Metas-Bericht Nr. 2002-256-472, http://www.metas.ch/de/publication/docu/mobilfunk_basisstationen.pdf

[13] Bundesamt für Kommunikation (Bakom): Standorte von Sendeanlagen (wird dauernd aufdatiert), www.bakom.ch/de/funk/freq_nutzung/standorte/index.html

[14] *H. Lehmann, P. Fritschi:* On the Measurement of Electric Fields. Comtec, 11/2001, pp. 13–18

Links

www.buwal.ch
www.elektrosmog-schweiz.ch/vollzug/mobilfunk
www.ralf-woelfle.de/elektrosmog (Messungen und Berechnungen)

Adresse des Autors

Dr. *Bàlint T. Szentkuti*, EMC-RF Szentkuti, 3074 Muri bei Bern, balint.szentkuti@bluewin.ch

[8] Bis auf weiteres wird angenommen, dass S zeitlich konstant ist und die gesamte Strahlung bei einer Frequenz ausgestrahlt wird.

[9] EIRP: Equivalent Isotropically Radiated Power

[10] ERP: Effective Radiated Power

[11] E: Elektrische Feldstärke [V/m]

[12] 1 pW/m² = 10^{-12} W/m²

[13] UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

[14] Steuerkanal: Broadcast Control Channel (BCCH)

[15] Telepage: Funkrufdienst für intensive professionelle Anwendungen

[16] ISM: Industrial/Scientifical/Medical; lizenzfreies 2,4-GHz-Band, welches einerseits für die Erzeugung starker Hochfrequenzfelder, anderseits für drahtlose Übertragung – wie z.B. Wireless-LAN oder Bluetooth – verwendet wird.

[17] Neuere Sonden mit beschränkter Bandbreite – aber immer noch relativ «breitbandig» – können einen Teil der unerwünschten Frequenzbänder sperren.

[18] Common Pilot Channel (CPICH)

Détermination de l'exposition au rayonnement non-ionisant de systèmes de téléphonie mobile – seconde partie

La première partie de l'article a présenté quelques principes fondamentaux de la propagation des ondes en communication mobile, exposé les principales notions et décrit et comparé les diverses valeurs limites RNI. Cette seconde partie examine diverses méthodes de calcul et de mesure d'exposition ainsi que les imprécisions y relatives. Une brève ouverture sur de nouvelles technologies telles que UMTS décrit pour terminer les nouvelles exigences de définition des valeurs limites et méthodes de mesure.

HYUNDAI

DIE WIRTSCHAFTSWUNDER INKL. 3-JAHRESGARANTIE OHNE KM-LIMITE.

H-1 2500 TDI Van Deluxe
mit 2.5 Turbodiesel,
100 PS, Radio/CD und
1117 kg Nutzlast für:

Fr. 25'990.–

Nettopreise inkl. MWSt.

H-1 2400 Combi Deluxe mit 135 PS,
2.4 Motor, Radio/CD und **1174 kg**
oder **1214 kg Nutzlast** ab:

Fr. 22'990.–

neu

neu

Der neue H-1 2500 TDI Camionnette
mit 2.5 Turbodiesel, 100 PS,
1444 kg Nutzlast (inkl. Brücke)
und Radio/CD für:

Fr. 24'990.–

Ich möchte ☐ eine Probefahrt ☐ einen Prospekt

Vorname/Name BU

Strasse/Nr.

PLZ/Ort

Senden an: HYUNDAI AUTO IMPORT AG, Steigstrasse 28, 8401 Winterthur,
Tel. 052 208 26 33, Fax 052 208 26 29. Oder an Ihren HYUNDAI-Vertreter.

www.hyundai.ch

Koreas Nr. 1

Alles dabei HYUNDAI

HYUNDAI EFL-LEASING vorteilhafte Finanzierung: Leasing, diskret und schnell, Tel. 052 208 26 40