Ermittlung der NIS-Exposition von Mobilfunkanlagen : Teil 1

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 17

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-855445

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 1

International empfohlene Grenzwerte für nichtionisierende Strahlung (NIS), welche in der Schweiz als «Immissionsgrenzwerte» festgelegt sind, schützen die Bevölkerung vor den Auswirkungen elektromagnetischer Wellen. Zusätzlich gelten in der Schweiz wesentlich tiefere Vorsorgewerte – so genannte Anlagegrenzwerte – für Mobilfunk-Basisstationen. Welche physikalischen Zusammenhänge bestimmen die Exposition? Ab welcher Entfernung von der Antenne können die Grenzwerte – bei gegebener Antennenleistung – eingehalten werden und warum ist die rechnerische oder messtechnische Überprüfung der Anlagegrenzwerte wesentlich aufwändiger und unsicherer als jene der Immissionsgrenzwerte? Diesen Fragen geht der vorliegende zweiteilige Beitrag nach.

Die Planung der Mobiltelefonie steht im Spannungsfeld der Anliegen, einerseits sowohl eine möglichst sichere und flächendeckende Versorgung zu gewährleisten und den Empfang selbst im Inneren von Gebäuden zu ermöglichen und anderseits die Umwelt möglichst wenig mit elektromagnetischer Strahlung zu belasten.

Moderne Mobiltelefonsysteme, wie beispielsweise das GSM[1)] [1,2], sind als Zellensysteme aufgebaut, wobei in jeder Funkzelle eine Basisstation die Verbindung zu den mobilen Geräten herstellt.

Bàlint T. Szentkuti

Bei wachsendem Funkverkehr müssen kleinere Zellen verwendet werden, was wiederum zu einer steigenden Anzahl von Basisstationen führt. Die Signale werden als elektromagnetische Wellen in den Frequenzbereichen 900 MHz und 1800 MHz übertragen. Diese Wellen gehören zur Kategorie der nichtionisierenden Strahlung.

Zum Schutz der Bevölkerung vor nichtionisierender Strahlung existieren die seit geraumer Zeit unveränderten international festgelegten Grenzwertempfehlungen des Icnirp[2)] [3] und der WHO[3)], welche auch von der Europäischen Union übernommen wurden und in der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV [4]) als Immissionsgrenzwerte festgelegt sind (Tabelle I). Der Nachweis zur Erhaltung dieser Grenzwerte kann bei Mobilfunk-Basisstationen sowohl rechnerisch als auch messtechnisch mit einfachen Mitteln schnell und zuverlässig erfolgen.

Neben den Immissionsgrenzwerten sind in der Schweiz gemäss Umweltschutzgesetz die Emissionen im Rahmen der Vorsorge so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Deshalb wurden in der NISV Anlagegrenzwerte für Mobilfunk-Basisstationen festgelegt, welche 20 dB[4)] tiefer liegen als die Immissionsgrenzwerte. Sie gelten an Orten mit empfindlicher Nutzung, d.h. dort, wo sich Personen regelmässig während längerer Zeit aufhalten. An diesen Orten, welche in der Regel nicht in unmittelbarer Nähe der Antenne liegen, ist die Überprüfung der Grenzwerte allerdings mit höherem Aufwand und grösseren Unsicherheiten verbunden.

Dieser Beitrag erklärt die physikalischen Zusammenhänge zwischen Sendeleistung der Basisstation und der resultierenden Strahlungsflussdichte und zeigt, warum mit zunehmender Entfernung von der Antenne sowohl die Berechnung als auch die Messung der Expositionen aufwändiger und ungenauer werden. Die aufgeführten Beispiele beziehen sich zwar auf das heutige GSM-System, doch sind die Grundsätze – von gewissen messtechnischen Aspekten abgesehen – System-unabhängig[5)].

Vereinfachte Modelle für Antennen und Wellen

Die wichtigsten Begriffe der Abstrahlung elektromagnetischer Wellen durch eine Antenne lassen sich am idealisierten Modell der Punktquelle und der Freiraumausbreitung am einfachsten erläutern. Freiraumausbreitung bedeutet dabei die Abwesenheit jeglicher Hindernisse.

Die Antenne als Strahlungsquelle

Die Strahlungsflussdichte S[6)] (Bild 1), die von der Antenne mit der Leistung P[7)] in einer Distanz d erzeugt wird, ist leicht zu ermitteln, wenn zunächst ein isotroper, d.h. ein in jeder Raumrichtung gleichmässig strahlender Sender betrachtet wird. Es ist nämlich die gesamte Leistung P durch die umhüllende Kugeloberfläche $4 \cdot \pi \cdot d^2$ zu dividieren, durch welche die Strahlung fliesst[8)] (Bild 1a).

Räumlich isotrope Antennen sind weder machbar noch bei Mobilfunk-Basisstationen erwünscht, denn die Signale sollten mehr oder weniger gebündelt in eine bestimmte Richtung (Funkzelle) abgestrahlt werden. Hierfür werden Richtantennen eingesetzt, mit dem zusätzlichen Vorteil, dass bei gleicher Antennenleistung die Strahlungsflussdichte in der Hauptstrahlungsrichtung erhöht oder für die gleiche Strahlungsflussdichte weniger Leistung benötigt wird. Die durch die Bündelung gegenüber dem isotropen Strahler erhöhte Strahlungsflussdichte in der Hauptstrahlungsrichtung wird als Gewinn G_0 bezeichnet. Es ist üblich, bei Sendern mit Richtantennen die «äquivalente isotrope Strahlungsleistung» (EIRP[9)]) anzugeben, wie dies in Bild 1b definiert ist. Somit kann die Strahlungsflussdichte mit der gleichen Formel ermittelt werden wie beim isotropen Strahler. $G_{\varphi\vartheta}$ ist der von Azimut (φ) und Elevation (ϑ) abhängige Gewinn ausserhalb

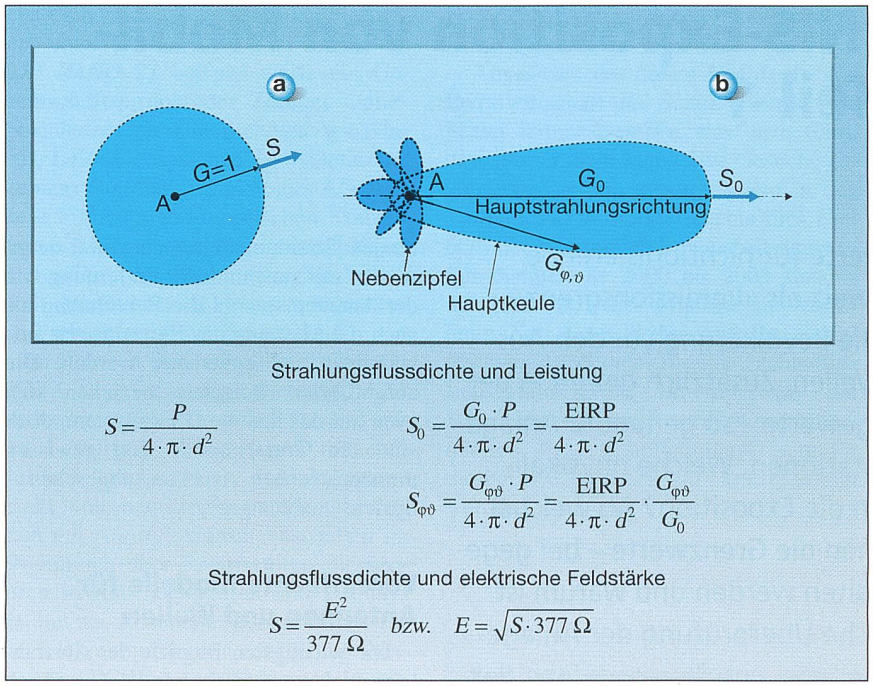


Bild 1 Antennen und Strahlung: Zusammenfassung der wichtigsten Beziehungen

Die Diagramme zeigen die Antennencharakteristiken (Strahlungsdiagramme).
A: Antenne; *d*: Distanz [m]; *E*: Elektrische Feldstärke [V/m]; EIRP: Äquivalente isotrope Strahlungsleistung der Antenne [W]; *G*: Antennengewinn der Richtantenne (Einheit: linear oder dB); G_0, $G_{\varphi\vartheta}$: Antennengewinn der Richtantenne in Hauptstrahlrichtung sowie in Azimut φ und Elevation ϑ; *P*: Antennenleistung [W]; *S*: Strahlungsflussdichte [W/m²]; Index 0: Strahlhauptachse; φ: Azimut; ϑ: Elevation.

der Hauptachse. Dieser ist meist nur im Winkelbereich bis zur halben Strahlungsflussdichte der «Hauptkeule» genau spezifiziert. Für die «Nebenzipfel», welche mit vernünftigem Aufwand nicht zu vermeiden sind, wird in der Regel nur die Abschwächung des grössten Nebenzipfels gegenüber der Hauptkeule angegeben.

Dabei ist zu beachten:

- Im Frequenzbereich unter 1000 MHz wird oft die «effektive Strahlungsleistung» ERP[10] angegeben. Dabei wird der Gewinn nicht auf eine isotrope Antenne, sondern auf einen Halbwellendipol bezogen. In der angegebenen Formel für die Strahlungsflussdichte in Bild 1 ist dann EIRP = 1,64 · ERP einzusetzen.
- Die in Bild 1 angegebene Formel für die Berechnung von *S* in Funktion der Distanz *d* gilt im Fernfeld der Antenne ($d > 2 \cdot D^2/\lambda$, wobei *D* die maximale Antennenausdehnung und λ die Wellenlänge bedeuten). Im «strahlenden Nahfeld» ($\lambda/4 < d < 2 \cdot D^2/\lambda$) überschätzt die Formel die Strahlungsflussdichte, ist aber für die Anwendungen in diesem Beitrag als leicht pessimistische Schätzung gut brauchbar [5]. Ganz nah an der Antenne ($d < \lambda/4$) dominiert die «Blindleistung» des elektromagnetischen Feldes, man spricht deshalb auch vom «reaktiven Nahfeld». Die Freiraumformel unterschätzt hier die Feldstärke. Bei GSM-Frequenzen ist allerdings $\lambda/4 < 8$ cm und somit das reaktive Nahfeld für diesen Aufsatz nicht von Belang.

Strahlungsflussdichte und elektrische Feldstärke

Die von der Antenne abgegebene Strahlung wird durch die elektrischen (*E*[11], Bild 1) und magnetischen (*H*) Feldkomponenten der Welle transportiert. Bei Freiraumausbreitung stehen diese Feldkomponenten sowohl senkrecht zueinander als auch senkrecht zur Wellenausbreitungsrichtung und sie sind zeitlich in gleicher Phasenlage. Die Polarisationsrichtung ist als jene des elektrischen Feldvektors definiert. Die Leistungsdichte oder die Strahlungsflussdichte werden mit dem Poynting-Vektor $\vec{S}$ charakterisiert. Dieser ist das vektorielle Produkt der Feldvektoren $\vec{E}$ und $\vec{H}$. Im vorliegenden Fall ergibt sich der Betrag von $\vec{S}$ als reelles Produkt:

$$\vec{S}=\vec{E}\times\vec{H}\rightarrow S=E\cdot H \qquad (1)$$

Bei der Freiraumausbreitung wird auch das ohmsche Gesetz der elektromagnetischen Wellen erfüllt:

$$E=H\cdot\zeta \qquad (2)$$

mit $\zeta=377\,\Omega$ als «Feldwellenwiderstand» des Raumes. Damit lässt sich die Strahlungsflussdichte *S* in die Feldstärke *E* umrechnen und umgekehrt, wie dies in Bild 1 angegeben ist.

Die Angaben der Strahlungsflussdichte *S* oder der elektrischen Feldstärke *E* sind somit äquivalent. Zu beachten ist, dass die Strahlungsflussdichte quadratisch von der elektrischen Feldstärke abhängt. Erstere nimmt quadratisch, letztere linear mit der Entfernung von der Antenne ab, wie dies in den Formeln von Bild 1 zu erkennen ist.

NIS-Grenzwerte und vereinfachte Abschätzungen

Die Grenzwertsituation wurde in der Einleitung bereits kurz angetönt. Die international und in der Schweiz geltenden Bestimmungen sind aus Tabelle I ersichtlich. Die angegebenen Icnirp-Grenzwerte sind für die allgemeine Bevölkerung bei Ganzkörper-Dauerexposition vorgesehen. Für Berufspersonen, welche in elektromagnetischen Feldern arbeiten müssen, gelten höhere Grenzwerte. Die

Anwendung	Grenzwert[1]			
	Strahlungsflussdichte *S* [W/m²]		Elektrische Feldstärke *E* [V/m]	
	GSM-900[2]	GS-1800	GSM-900	GSM-1800
Icnirp-Grenzwert[3] für die allgemeine Bevölkerung und «Immissionsgrenzwert» gemäss NISV	4,7	9,2	42	59
«Anlagegrenzwert» für GSM-Basisstationen, gemäss NISV[4]	0,042	0,095	4,0	6,0

Tabelle I Internationale und schweizerische Grenzwerte

[1] Die Angaben Strahlungsflussdichte (*S*) und elektrische Feldstärke (*E*) sind gemäss Bild 1 äquivalent. In der NISV wird *S* nicht angegeben.
[2] Mit GSM-900 und GSM-1800 werden die entsprechenden GSM-Frequenzbänder bezeichnet.
[3] Diese Grenzwerte steigen mit der Frequenz ($S \sim f$; $E \sim f^{1/2}$). Die Angaben gelten für die Bandmitte der Sendefrequenzen.
[4] Für Anlagen, welche beide GSM-Bänder benützen, gilt $S = 0{,}066$ W/m² und $E = 5{,}0$ V/m.

GSM-Anlagedaten		Exposition		
Leistung der Anlage EIRP[1] [kW]	Entfernung *d* [m]	Strahlungsflussdichte *S* [W/m²]	Elektrische Feldstärke *E* [V/m]	Entspricht bei GSM-1800 dem Grenzwert für
2	4	10	61	«Immission»[2]
2	40	0,1	6	«Anlage»
2	400	0,001	0,6	«Salzburg»[3]

Tabelle II Abschätzung von Expositionen im Vergleich zu Grenzwerten

Die Werte in der Tabelle wurden mit der Freiraumapproximation gemäss Bild 1 ermittelt. Sie gelten für die Hauptstrahlungsrichtung.

[1] In den Standortplänen des Bakom [13] werden die Strahlungen für GSM-Anlagen mit EIRP < 1000 W in die Klassen als sehr klein, klein oder mittel eingeteilt und mit EIRP > 1000 W als gross bezeichnet. In der Regel gibt es kaum stärkere Sendeanlagen als solche mit einigen kW EIRP. Es wird dabei die Summe der Strahlungen aller Frequenzkanäle und aller Betreiber angegeben. Für optimale Abdeckung der Funkzelle sind die Antennen in dieser Strahlungsklasse meistens so ausgerichtet, dass die Hauptkeule über den Dächern von Nachbargebäuden hinwegzielt. Damit wird die Exposition in Nachbargebäuden dank Richtungsabschwächung meist kleiner als in der Tabelle angegeben. Zusätzlich kann diese Exposition durch Dämpfung der Wände vermindert werden.

[2] Wegen der Nahfeldeffekte dürfte die tatsächliche Exposition etwas kleiner sein als in der Tabelle für *d* = 4 m angegeben.

[3] Diese Exposition (1 mW/m²) entspricht dem Grenzwertvorschlag im so genannten Salzburger-Modell [7]. Bei Wellenausbreitung in realer Umgebung und in 400 m Distanz ist die Exposition tiefer als 1 mW/m².

Icnirp-Grenzwerte haben ihren Niederschlag in den «Immissionsgrenzwerten» der NISV gefunden. Sie sind in der Schweiz überall einzuhalten, wo sich Menschen aufhalten können.

Gemäss NISV sind für GSM-Basisstationen zusätzlich auch die tieferen «Anlagegrenzwerte» anzuwenden. Diese gelten an «Orten mit empfindlicher Nutzung», d.h. an Orten, wo sich Personen regelmässig während längerer Zeit aufhalten, wie z.B. in Wohnungen, an Arbeitsplätzen oder in Schulen.

Es ist zu beachten, dass im Grenzwertkonzept für fixe Funkanlagen nicht etwa die gesamte Strahlungsleistung eingeschränkt wird. Vielmehr sind Antennencharakteristik und Leistung jeweils so aufeinander abzustimmen, dass an den fraglichen Orten die Grenzwerte der Strahlungsflussdichte oder der elektrischen Feldstärke eingehalten werden. Eine weitere Spielart der Grenzwertkonzepte wird im EU-Raum angewendet: Der Hersteller einer Funkausrüstung hat die «Schutzdistanz» anzugeben, ausserhalb welcher der Grenzwert – in der Regel der Icnirp-Grenzwert – nicht überschritten wird [5, 6]. Bei der Platzierung der Anlage ist dann diese Schutzdistanz zu berücksichtigen.

Ein Beispiel soll die Bedeutung dieser Grenzwerte und Schutzdistanzen veranschaulichen. Es sei hierzu das idealisierte Modell der Freiraumausbreitung verwendet (Gleichungen in Bild 1). Die Distanzen wurden bei einer Anlage mit grosser Sendeleistung so gewählt, dass gerade jene Expositionen entstehen, welche in den verschiedenen Normen oder Vorschlägen als Grenzwerte spezifiziert sind. Die in Tabelle II aufgeführten Ergebnisse zeigen, dass die Schutzdistanz für den Immissionsgrenzwert bloss einige Meter, für den Anlagegrenzwert jedoch bereits mehrere zehn Meter beträgt. Die Tabelle führt auch einen Grenzwert von 1 mW/m² auf, der in der Stadt Salzburg diskutiert und als «Salzburger Modell» bezeichnet wird [7]. Dieses Modell benötigt nach der Freiraumformel mehrere hundert Meter Schutzdistanz, was allerdings eine Überschätzung bedeutet, wie dies im zweiten Teil dieses Beitrags illustriert wird.

Die Planungswerte für minimale GSM-Empfangssignale liegen bei etwa $S \approx 50$ pW/m² für angemessene Empfangsqualität[12]. Vergleicht man diese Grösse mit den Expositionen bzw. Grenzwerten in Tabelle II, welche in der Grössenordnung von mW/m² bzw. W/m² liegen, so sieht man zunächst eine äusserst komfortable Reserve für die Funkplanung: es macht den Anschein, dass die Grenzwerte wesentlich höher liegen als die für GSM notwendigen Nutzsignalpegel. Diese Reserve schmilzt allerdings schnell – wie später noch gezeigt wird – bei der Betrachtung der realen Wellenausbreitung in städtischen Gebieten.

Grenzwertvergleich in Dezibel

Beim Vergleich von Grenzwerten ist Vorsicht geboten: Muss man Feldstärken oder Strahlungsflussdichten vergleichen? Bedeutet nun der Anlagegrenzwert in der Schweiz eine zehnfache (Feldstärke) oder eine hundertfache Reduktion (Strahlungsflussdichte) gegenüber dem Immissionsgrenzwert, d.h. gegenüber dem internationalen Icnirp-Grenzwert?

Es sind beide Antworten richtig, soweit klar gestellt wird, um welche Grösse es sich handelt. Der Fachmann vermeidet Missverständnisse, indem er die Unterschiede in dB angibt. In dieser Darstellung ist das Verhältnis V zweier Grenzwerte wie folgt definiert:

$$V = 10 \cdot \log\left(\frac{S_1}{S_2}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{E_1}{E_2}\right) \; [\mathrm{dB}] \quad (3)$$

Somit bedeutet der Anlagegrenzwert eine Reduktion um 20 dB und der Grenzwert des «Salzburger Modells» (Tabelle II) eine Reduktion um 40 dB gegenüber dem Immissionsgrenzwert.

Aber auch wenn der Grenzwert als Feldstärke angegeben wird, so ist doch die Strahlungsflussdichte die massgebende Grösse, denn bei der Überlagerung mehrerer Frequenzen wird gemäss Icnirp und NISV die resultierende Exposition nicht als Summe der Feldstärken, sondern als Summe der Strahlungsflussdichten ermittelt (Wurzel der Quadratsumme der Feldstärken). In Anlehnung an vergleichbare Bereiche der Grenzwertsetzung (z.B. Bestrahlungsstärke mit Laser) ist es tatsächlich sinnvoll und in Hinblick auf die Messtechnik neuer oder zukünftiger Funktechnologien (UMTS[13]), digitale

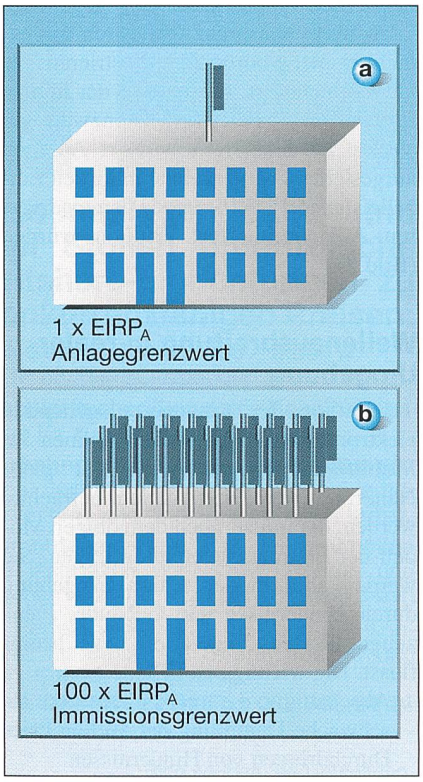


Bild 2 Quantitativer Unterschied zwischen Immissions- und Anlagegrenzwert

a: Eine Antenne mit Leistung EIRP$_A$, welche gerade den Anlagegrenzwert erfüllt; b: 100 Antennen mit je den gleichen Strahlungen EIRP$_A$ erfüllen gerade den Immissionsgrenzwert.

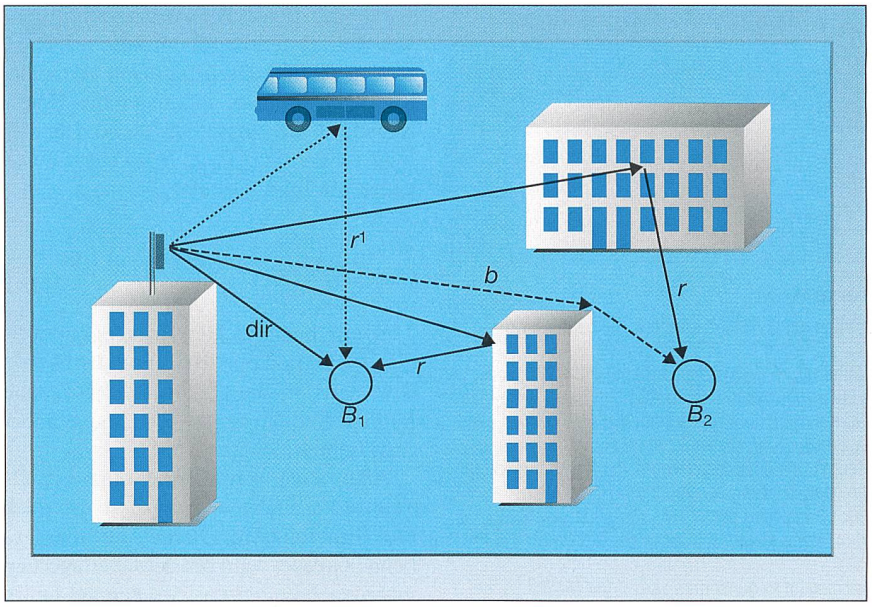


Bild 3 Mehrwegausbreitung: Prinzip der Überlagerung der verschiedenen Strahlen an einem Beobachtungspunkt

dir: direkter Strahl; *r*: reflektierter Strahl; b: gebeugter Strahl; r^1 ist ein Beispiel für eine Reflexion an einem sich bewegenden Objekt.

Rundfunktechnik usw.) sogar zwingend, die Strahlungsflussdichte als relevante Grösse zu betrachten.

In diesem Licht betrachtet lässt sich die starke Reduktion der Exposition durch den Anlagegrenzwert gegenüber dem Immissionsgrenzwert durch folgendes Beispiel eindrücklich illustrieren:

An einem Ort, für den nur der höhere Immissions- bzw. Icnirp-Grenzwert gefordert wird, dürften hundert Anlagen aufgestellt werden, welche mit ihren Einzelleistungen $EIRP_A$ gerade den niedrigeren Anlagegrenzwert erfüllen würden (Bild 2).

Wellenausbreitung in realer Umgebung

Die von der Antenne ausgehenden elektromagnetischen Wellen können im Mobilfunk-Frequenzbereich mit guter Näherung wie Lichtstrahlen betrachtet werden, die immer noch dem obigen Modell der Freiraumausbreitung folgen. Sie werden aber in der realen Umgebung durch Hindernisse wie Gebäude, Fahrzeuge, Boden, Vegetation usw. beeinflusst. Die wichtigsten Effekte sind:

- Abschattung, d.h. meist eher starke als schwache Dämpfung der Wellen beim Durchdringen von Hindernissen
- Teilweise oder totale Reflexion beim Auftreffen auf Hindernisse
- Beugung an Kanten, d.h. leichte Umlenkung der Strahlen.

Dies ist in Bild 3 veranschaulicht. Die resultierende Exposition in den Beobachtungspunkten B_1 und B_2 ergibt sich als die Überlagerung aller vorhandenen Strahlen. Da es sich um elektromagnetische Wellen handelt, müssen diese sowohl räumlich als auch zeitlich richtig überlagert werden (Polarisation und Phasenlage). Diese Addition soll vereinfacht dargestellt werden, wobei nur eine Polarisationsrichtung und nur wenige Strahlen betrachtet werden. Die amplituden- und phasenmässig korrekte Addition lässt sich am einfachsten im komplexen Zeigerdiagramm veranschaulichen (Bild 4).

Die Längen der Zeiger sind zunächst umgekehrt proportional zum zurückgelegten Weg ($E \sim 1/d$, gemäss den Formeln in Bild 1). Die Phasen sind direkt proportional zu diesem Weg ($\alpha = 360° \cdot d/\lambda$). Der Wegunterschied um eine Wellenlänge λ bewirkt also eine zusätzliche Phasendrehung um volle 360° eines Zeigers. Im GSM-1800-Frequenzband ist $\lambda \approx 16$ cm, womit bereits eine leichte Verschiebung des Beobachtungspunktes eine merkliche Änderung der resultierenden Strahlung bewirken kann. Dies ist umso mehr der Fall, je mehr Strahlen zu berücksichtigen sind und je weniger dominant der direkte Strahl ist. Zusätzlich werden durch Materialdämpfung, Reflexion und Beugung die Zeigerlängen verkleinert und die Phasen geändert. Aus Bild 4 ist offensichtlich, wie schnell und kompliziert sich die Amplitude der resultierenden Feldstärke ändert, wenn der Beobachtungspunkt verschoben wird. Dabei wurde die räumliche Addition von zwei weiteren Polarisationskomponenten noch gar nicht berücksichtigt.

Referenzen

[1] Bundesamt für Kommunikation (Bakom): Faktenblatt GSM. 22.05.2001, www.bakom.ch/imperia/md/content/deutsch/telecomdienste/factsheets/5.pdf

[2] Bundesamt für Kommunikation (Bakom): Faktenblatt UMTS. 16.12.2001, www.bakom.ch/imperia/md/content/deutsch/telecomdienste/factsheets/4.pdf

[3] Icnirp Guidelines: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). 1998, www.icnirp.org/documents/emfgdl.pdf

[4] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV). Vom 23.12.1999, AS 2000 213, www.elektrosmog-schweiz.ch/vollzug/mobilfunk

[5] Cenelec: Basic standard for the calculation and measurement of electromagnetic field strength and

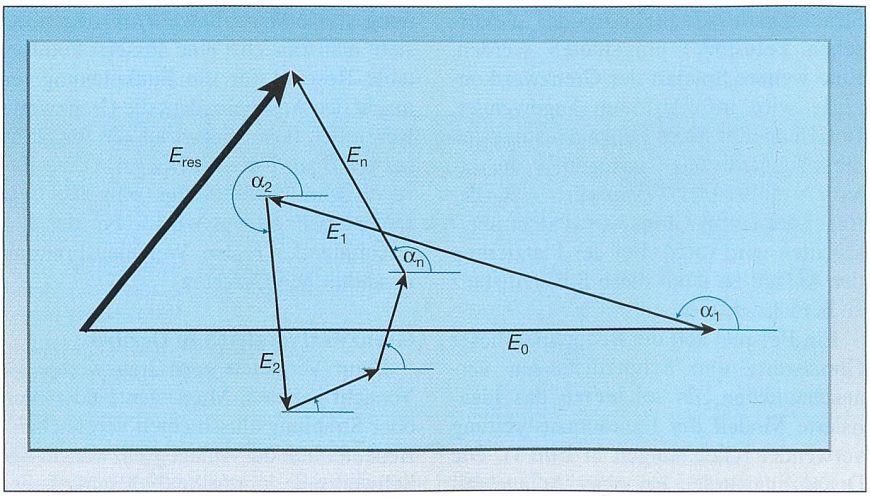


Bild 4 Addition der Strahlkomponenten in komplexer Zeigerdarstellung

E_i: Zeiger der Feldstärken der einzelnen einfallenden Strahlen (Betrag E_i und zeitliche Phase α_i); E_{res}: resultierender Feldstärkezeiger (es handelt sich nicht um eine räumliche Addition von Feldstärkevektoren; alle Zeiger E_i gehören zur gleicher Polarisation).

SAR related to human exposure from radio base stations and fixed terminal stations for wireless telecommunication systems (110 MHz – 40 GHz). pr EN 50383, 2001; www.cenelec.org

[6] Cenelec: Product Standard to demonstrate the compliance of radio base stations and fixed terminal stations for wireless telecommunication systems with the basic restrictions of the reference levels related to general public exposure to radio frequency electromagnetic fields (110 MHz – 40 GHz). pr EN 50385, 2001, www.cenelec.org

Links

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

Adresse des Autors

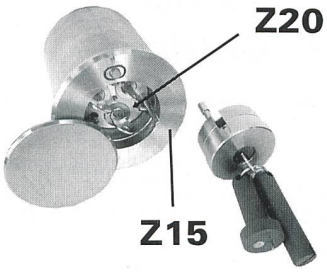
Dr. *Bàlint T. Szentkuti*, EMC-RF Szentkuti, 3074 Muri bei Bern, balint.szentkuti@bluewin.ch

[1] GSM: Global System for Mobile Communication (auch «Natel» genannt)
[2] Icnirp: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, www.icnirp.org
[3] WHO: World Health Organization, www.who.int
[4] dB: Dezibel, Definition gemäss Formel (3)
[5] Die Ausdrücke *Exposition*, *Strahl*, *Strahlung*, *Strahlungsflussdichte*, *Welle* und *Feld(-stärke)* beziehen sich immer auf das gleiche Phänomen. Dabei sind nur die Exposition, die elektrische Feldstärke (E) und die Strahlungsflussdichte (S) quantifizierbare Grössen. S und E sind zwar nicht identisch, lassen sich aber mit den Formeln in Bild 1 umrechnen.
[6] S: Strahlungsflussdichte in [W/m^2]
[7] P: Leistung in [W]
[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/m^2 = 10^{-12} W/m^2
[13] UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

Détermination de l'exposition au rayonnement non ionisant de systèmes de téléphonie mobile – 1ère partie

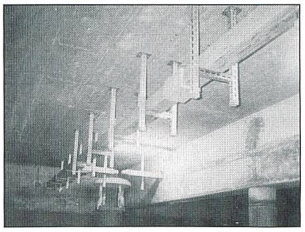
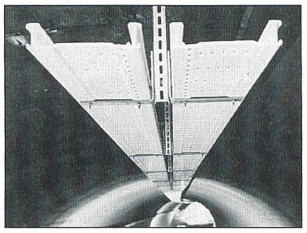
Les limites recommandées sur le plan international pour le rayonnement non ionisant (RNI), fixées en Suisse comme «valeurs limites d'immissions», sont destinées à la protection de la population contre les effets d'ondes électromagnétiques. En outre, des valeurs préventives beaucoup plus basses – dites valeurs limites de l'installation – sont appliquées en Suisse aux stations de base de téléphonie mobile. Quels sont les relations physiques déterminant l'exposition? A partir de quelle distance de l'antenne les valeurs limites peuvent-elles – pour une puissance donnée – être respectées et pourquoi le contrôle des valeurs limites d'installations par le calcul ou la mesure est-il beaucoup plus complexe et incertain que celui des valeurs limites d'immissions? Le présent article étudie toutes ces questions.

SIBOX®
Schlüsselbüchsen



Aufbruchschutz
Vandalenschutz
Preiswert
ab CHF 150.-
exkl. 7,6% MWST

Helbling & Co. AG
Buechstrasse 2, CH-8645 Jona
Tel. 055 212 39 81, Fax 055 212 21 16
www.helbling.net

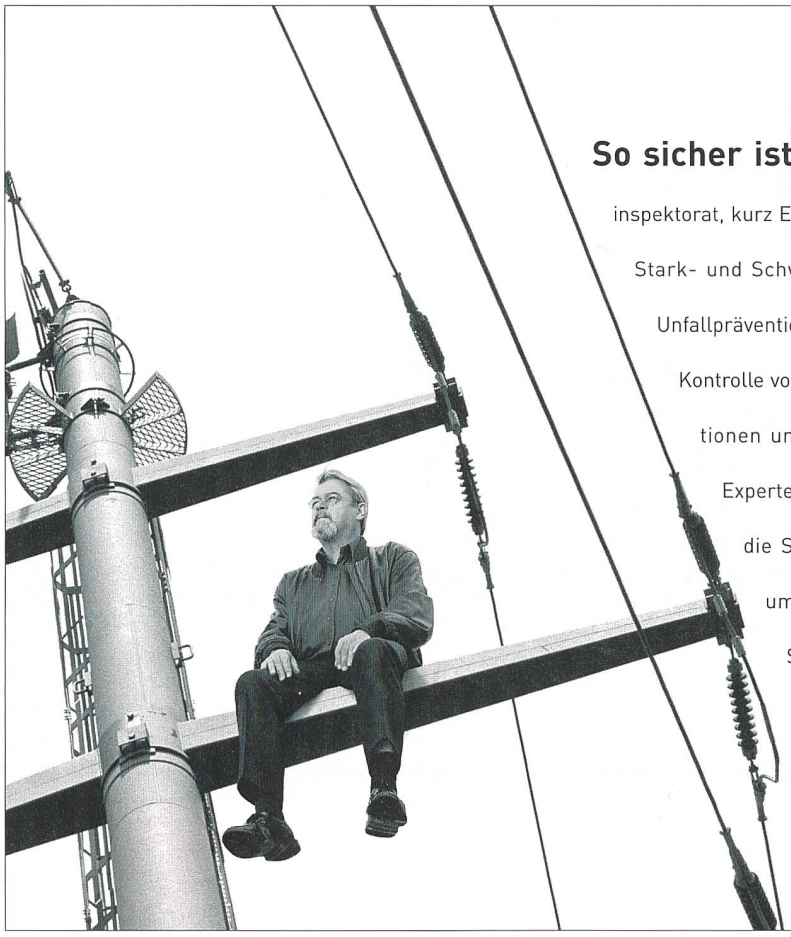
Für ARA's Aussenanlagen Bahn- und Strassen-Tunnel Stollen unterirdische Bauten und Offshore-Einrichtungen zu international konkurrenzfähigen Preisen:

- **LANZ Übertragungs-Stromschienen 400 – 8'000 A** giessharzvergossen IP 68 EN/IEC-typengeprüft.
- **LANZ Weitspann-Kabelpritschen/Polyester-Kabelbahnen** bis 10 m Bahnenlänge für zügige Montage.
- **Multibahnen, Gitterbahnen, G-Kanäle, Steigleitungen** aus Stahl galvanisch verzinkt und zusätzlich pulverbeschichtet, tauchfeuerverzinkt und rostfrei V4A. Auch farbig.
- **MULTIFIX-Schienenmontagesystem und -Rohrschellen** für die **koordinierte** Installation von Kabel, Rohren und Leitungen. Abrutschsicher verzahnt. ACS Schockattest 3 bar.

Robust dimensioniert. Perfekt verarbeitet. CE- und IEC-konform. Fragen Sie LANZ für Beratung, Offerte, rasche und preisgünstige Lieferung. Europa und Übersee.
lanz oensingen ag Tel. 062 388 21 21 Fax 062 388 24 24

☐ Mich interessieren . . . . . Bitte senden Sie Unterlagen.
☐ Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!
Name/Adresse/Tel. _____
AL 03

lanz oensingen ag
CH-4702 Oensingen · Telefon ++41/62 388 21 21

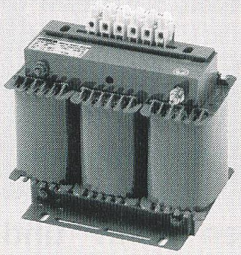


Burson-Marsteller

So sicher ist sicher. Für das Eidgenössische Starkstrominspektorat, kurz ESTI genannt, ist nur die umfassende Sicherheit im Stark- und Schwachstrombereich sicher genug. Dazu gehören Unfallprävention bei Bau und Betrieb von elektrischen Anlagen, Kontrolle von Hochspannungsleitungen, Kraftwerken, Installationen und die Sicherheit von elektrischen Geräten. Die Experten des ESTI sind kompetent, kundennah und setzen die Sicherheitsvorschriften des Elektrizitätsgesetzes um. Das war vor 100 Jahren so und wird auch im Strommarkt von morgen so sein. Damit sicher nicht nur sicher ist, sondern auch sicher bleibt.

Eidgenössisches Starkstrominspektorat
Inspection fédérale des installations à courant fort
Ispettorato federale degli impianti a corrente forte
Inspecturat federal d'implants da current ferm

Für weitere Informationen: **www.esti.ch**



HUBER
Transformatoren AG
Transformatoren, Drosseln
Wickelgüter, Stromversorgungen
Grosses Lagersortiment
Einzel- und Expressanfertigungen

Huber Transformatoren AG, Bahnhofstrasse 27, 8107 Buchs/ZH
Telefon 043 411 70 00, Fax 043 411 70 19
www.hubertrafo.ch mailbox@hubertrafo.ch

Bureau romand:
Huber Transformatoren AG, Rochette 2, 2017 Boudry
Téléphone 032/842 57 64, Fax 032/842 64 03

Kompetenz in Text und Bild

Suchen Sie eine Fachperson, die Ihre Drucksachen gestaltet und realisiert?

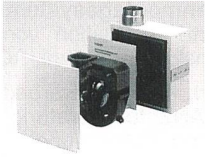
Briefschaften Logos Broschüren
Bücher Illustrationen Hauszeitungen

Pia Thür
Visuelle Gestaltung

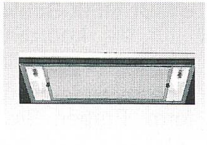
Hardturmstrasse 261, 8005 Zürich
Tel 01-563 86 76 Fax 01-563 86 86
piathuer@dplanet.ch

ANSON liefert die besten + modernsten Lüftungsgeräte für STWE, EFH und MFH:

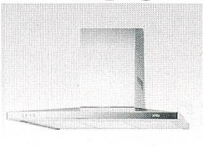
ANSOMATIC Bad-/WC-Venti mit Zeitautomatik
die besten, die es gibt! 230 V 100 m³/h 50 Pa. Putzbündig. Preisgünstig von ANSON



Superleise 1-Rohr-Ventilatoren UP
Mit Zeitautomatik. Formschön. 230 V 80 m³/h 300 Pa. Auch in AP-Ausführung. CE-konform. Von ANSON



Formschöne Einbau-Hauben ANSOLUX
1- und 2-motorig. Hohe Leistung 570 m³/h 310 Pa. Einbaumasse ab 258 x 494 mm. Pflegeleicht.



ANSON DECOR Abzughauben
für designbetonte Küchen und Kochinseln. Auch inox. 230 V 400–1000 m³/h. – Angebot verlangen von:

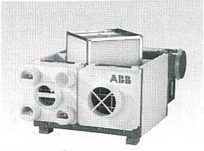


ABB Ventilatoren mit WRG
4 Anschlüsse 80 mm Ø; 400 m³/h, für Bad-/WC- **und** Küchen-Entlüftung in STWE und EFH. Von ANSON!

Luft-Entfeuchter für Wäsche-Trockenräume
in EFH und MFH. Wartungsfrei. Geringer Energiebedarf. 4 Modelle 230 V 400–800 W. Ab Lager! Von ANSON.

Verlangen Sie Besuch + Beratung: **ANSON 01/461 11 11**
Friesenbergstrasse 108
8055 Zürich Fax 01/461 31 11