

Vollzug Umwelt

Nichtionisierende Strahlung

Mobilfunk-
Basisstationen (GSM)

Messempfehlung



m | e | t | a | s
metrologie und akkreditierung schweiz



**Bundesamt für
Umwelt, Wald und
Landschaft
BUVAL**

Nichtionisierende Strahlung

**Mobilfunk-
Basisstationen (GSM)**

Messempfehlung

**Herausgegeben vom Bundesamt
für Umwelt, Wald und Landschaft
BUWAL und vom Bundesamt für
Metrologie und Akkreditierung
METAS
Bern, 2002**

Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BUWAL als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis ermöglichen.

Das BUWAL veröffentlicht solche Vollzugshilfen (oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe „Vollzug Umwelt“.

Die Vollzugshilfen gewährleisten einerseits ein grosses Mass an Rechtsgleichheit und Rechtssicherheit; andererseits ermöglichen sie im Einzelfall flexible und angepasste Lösungen. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfen, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen. Andere Lösungen sind nicht ausgeschlossen, gemäss Gerichtspraxis muss jedoch nachgewiesen werden, dass sie rechtskonform sind.

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL
Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung METAS

Redaktion

Sektion Nichtionisierende Strahlung, BUWAL
Sektion Hochfrequenz, EMV und Verkehr, METAS

Sprachen

Diese Publikation liegt auch in französischer Sprache vor.

Internet

Die vorliegende Publikation kann als pdf-Datei aus dem Internet heruntergeladen werden:
<http://www.elektrosmog-schweiz.ch/vollzug/mobilfunk>
<http://www.buwalshop.ch>

Fotos Titelblatt

© Emanuel Ammon /AURA und BUWAL

Bezug

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Dokumentation
CH-3003 Bern
Fax + 41 (0) 31 324 02 16
E-Mail: docu@buwal.admin.ch
Internet: www.buwalshop.ch

Bestellnummer

VU-5800-D

© BUWAL 2002 11.2002 2000 71039/142

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5
Vorwort	7
1 Zweck und Geltungsbereich	9
2 GSM-Technik	11
2.1 Das GSM-Mobilfunksystem	11
2.2 Die Funkschnittstelle	11
2.3 Steuerkanal und Gesprächskanäle	12
2.4 Zusätzliche Spezialfunktionen auf der Funkschnittstelle	12
2.4.1 Leistungsregelung (Power Control)	12
2.4.2 Frequenzhüpfen (Slow Frequency Hopping)	12
2.4.3 Sprachtaustattung (Discontinuous Transmission)	13
3 Anforderungen der NISV	15
4 Grundsätzliches zur Messung	17
4.1 Betrieb der Anlage während der Messung	17
4.2 Messwert und Beurteilungswert	17
4.2.1 Messwert	17
4.2.2 Beurteilungswert	17
4.3 Anforderungen an Messfirmen und Messpersonen	18
4.4 Angaben des Auftraggebers und der Netzbetreiber	18
4.5 Ort der Messung	18
4.6 Zeitpunkt und Dauer der Messung	19
4.7 Breitbandige und frequenzselektive Messung	19
4.8 Messunsicherheit und Kalibration	20
4.8.1 Allgemeines zur Messunsicherheit	20
4.8.2 Unsicherheit der Messeinrichtung	20
4.8.3 Unsicherheit der Probenahme	22
4.8.4 Anforderung an die Messunsicherheit	22
4.8.5 Kalibration	22
4.9 Messbericht	23
5 Breitbandige Messung	25
5.1 Messmethode	25
5.2 Messeinrichtung	25
5.3 Berechnung des Beurteilungswertes	26

6	Frequenzselektive Messung	27
6.1	Messmethode	27
6.2	Messeinrichtung	28
6.2.1	Antennen	28
6.2.2	Spektrumanalysator / Messempfänger	28
6.2.3	Kabel	29
6.3	Berechnung des Beurteilungswertes	29
7	Spezialfälle	31
Anhang 1	Beispiele zur Berechnung der Messunsicherheit	33
	Beispiel 1.1: Breitbandsonde mit individueller Kalibration	35
	Beispiel 1.2: Frequenzselektive Messeinrichtung mit separater Kalibration von Antenne und Kabel	38
Anhang 2	Beispiele zur Berechnung des Beurteilungswertes	43
	Beispiel 2.1	44
	Beschreibung der Anlage 1	44
	Breitbandmessung bei der Anlage 1	45
	Frequenzselektive Messung bei der Anlage 1	45
	Beispiel 2.2	46
	Beschreibung der Anlage 2	46
	Breitbandmessung bei der Anlage 2	47
	Frequenzselektive Messung bei der Anlage 2	48
Anhang 3	Verzeichnis der Abkürzungen	49

Abstracts

This publication provides instructions for enforcement authorities and measuring laboratories, on how radiation from mobile telecommunication base stations of the GSM network has to be measured and assessed. It also provides the basis for the accreditation of measuring laboratories for such measurements. Indoor measurements are the main priority. After a short overview of GSM technology, the relevant regulations in the Ordinance relating to Protection from Non-Ionising Radiation (ONIR) are explained and further specified. Then, detailed recommendations are given on the measurement procedures, the measurement equipment, the treatment of the measurement uncertainty and the assessment of results in accordance with the Ordinance. An appendix illustrates the determination of the measurement uncertainty, another appendix illustrates projections of the measured values to the maximum capacity of the transmission installation.

Keywords: non-ionising radiation; ONIR; installation limit values; base station; measurement; GSM; accreditation

La présente publication, destinée aux autorités d'exécution et aux laboratoires de mesures, contient des instructions sur la manière de mesurer et d'évaluer le rayonnement émis par les stations de base de téléphonie mobile des réseaux GSM. Elle sert en même temps de base à l'accréditation des laboratoires effectuant de telles mesures. L'accent porte sur les mesures effectuées à l'intérieur des bâtiments. Après un bref aperçu de la technique GSM, les dispositions déterminantes de l'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI) sont expliquées et précisées. Suivent des recommandations détaillées concernant la méthode et les appareils de mesure, le traitement de l'incertitude de mesure et une évaluation des résultats conforme à l'ordonnance. Une des annexes concerne la détermination de l'incertitude de mesure, une autre l'extrapolation d'un résultat de mesure à la capacité maximale de l'installation émettrice.

Mots-clés: rayonnement non ionisant; ORNI; valeur limite de l'installation; station de base; mesure; GSM; accréditation

Diese Publikation ist eine Anleitung für Vollzugsbehörden und Messlabors, wie die Strahlung von Mobilfunk-Basisstationen der GSM-Netze zu messen und zu beurteilen ist. Sie bildet gleichzeitig die Grundlage für die Akkreditierung von Messlabors für solche Messungen. Im Vordergrund stehen Messungen in Innenräumen. Nach einem kurzen Überblick über die GSM-Technik werden die massgebenden Bestimmungen der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) erläutert und präzisiert. Es folgen detaillierte Empfehlungen zum Messverfahren, zur Messeinrichtung, zur Behandlung der Messunsicherheit und zur verordnungskonformen Beurteilung eines Messergebnisses. Ein Anhang illustriert die Bestimmung der Messunsicherheit, ein weiterer Anhang die Hochrechnung eines Messresultats auf die maximale Kapazität der Sendeanlage.

Schlüsselwörter: nichtionisierende Strahlung; NISV; Anlagegrenzwert; Basisstation; Messung; GSM; Akkreditierung

La presente pubblicazione vuole essere un'introduzione rivolta alle autorità esecutive e ai laboratori di misurazione che indichi come rilevare e valutare le radiazioni emesse dalle stazioni base di telefonia mobile delle reti GSM. Al contempo, costituisce la base per l'accréditamento dei laboratori di misurazione per simili rilevamenti. In primo piano vi sono le misurazioni in ambienti chiusi. Dopo un breve sguardo sulla tecnica GSM vengono illustrate e precisate le principali prescrizioni dell'ordinanza sulla protezione dalle radiazioni non ionizzanti (ORNI). Seguono raccomandazioni dettagliate sul procedimento e sugli apparecchi di misurazione, su come gestire il margine di errore di misurazione e su come effettuare una valutazione dei risultati delle misurazioni conforme all'ordinanza. Un primo allegato illustra come determinare il margine di errore delle misurazioni, un secondo l'estrapolazione di un risultato di misurazione sulla capacità massima dell'impianto di trasmissione.

Parole chiave: radiazioni non ionizzanti; ORNI; valore limite dell'impianto; stazione base; misurazione; GSM; accreditalmento

Vorwort

In den letzten Jahren hat sich die Mobiltelefonie in der Schweiz rasant verbreitet. Über zwei Drittel der Schweizer Bevölkerung nutzen derzeit die Vorteile des Mobiltelefons. Damit mobiles Telefonieren möglich ist, braucht es übers ganze Land verteilt Sendantennen, welche via Funkwellen die Verbindung zu den Mobiltelefonen herstellen. Diese Antennen geben naturgemäss Hochfrequenzstrahlung an die Umwelt ab. In der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV), welche am 1. Februar 2000 in Kraft getreten ist, hat der Bundesrat für diese Strahlung Grenzwerte festgelegt. Die zuständigen Behörden der Kantone und Gemeinden müssen überprüfen, ob die Mobilfunkanlagen diese Grenzwerte einhalten. Sie tun dies im Planungsstadium anhand einer rechnerischen Prognose und nach Inbetriebnahme der Anlagen anhand von Messungen der Strahlung.

Die vorliegende Empfehlung behandelt den zweiten Punkt, die Messung. Es hat sich gezeigt, dass dabei ein Ermessensspielraum besteht. Je nachdem, mit welcher Methode gemessen und wie die Messunsicherheit berücksichtigt wird, erhält man bei gleicher Situation deutlich unterschiedliche Beurteilungswerte. Dieser Spielraum ist in intensiven Gesprächen mit den betroffenen Kreisen und durch Entscheid des Vorstehers des UVEK so weit eingegrenzt worden, dass nun eine eindeutige Vorgehensweise empfohlen werden kann.

Die vorliegende Messempfehlung gibt detaillierte Anleitung, wie die Strahlung von Mobilfunkantennen der GSM-Netze zu messen und zu beurteilen ist. Sie wurde federführend durch das BUWAL unter intensiver Mitarbeit des Bundesamtes für Metrologie und Akkreditierung (METAS) erarbeitet. Sie soll dazu beitragen, den Vollzug der NISV im Bereich Mobilfunk zu vereinheitlichen und bildet gleichzeitig die materielle Grundlage für die Akkreditierung von Messfirmen. Die beiden Bundesämter hoffen, damit einen Beitrag für einen sicheren Vollzug der NISV und damit für den Schutz der Bevölkerung leisten zu können.

Ulrich Feller

Vizedirektor METAS

Bruno Oberle

Vizedirektor BUWAL

1 Zweck und Geltungsbereich

Die Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) verlangt, dass die Strahlung von Mobilfunksendeanlagen an Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN) den Anlagegrenzwert einhalten muss. Eine Mobilfunkanlage im Sinne der NISV umfasst Sendeanennen der Funkdienste GSM, UMTS, Tetrapol, TETRA und WLL. Bevor eine Sendeanlage neu errichtet wird, gibt der Netzbetreiber der zuständigen Behörde auf einem Standortdatenblatt die technischen Daten der Anlage bekannt, macht Angaben über die nähere Umgebung der Anlage und deren Nutzung und berechnet die zu erwartende NIS-Belastung. Die gleichen Angaben liefert er, bevor bei einer bestehenden Sendeanlage die Sendeleistung über den bewilligten Wert hinaus erhöht wird oder die Senderichtungen über den bewilligten Bereich hinaus geändert werden.

Zuständige Behörde ist in den meisten Fällen die Baubehörde der Gemeinde oder des Kantons. Für Sendeanlagen auf Masten von Hochspannungsleitungen ist das Eidg. Starkstrominspektorat, für Mobilfunkanlagen der Bahn (GSM-Rail) das Bundesamt für Verkehr die zuständige Behörde.

Es ist die Aufgabe der zuständigen Behörde zu kontrollieren, ob die Angaben und Berechnungen des Betreibers zutreffen und ob der Anlagegrenzwert eingehalten ist. Artikel 12 der NISV präzisiert diese Aufgabe wie folgt:

Art. 12 Kontrolle

¹ Die Behörde überwacht die Einhaltung der Emissionsbegrenzungen.

² Zur Kontrolle der Einhaltung des Anlagegrenzwertes nach Anhang 1 führt sie Messungen oder Berechnungen durch, lässt solche durchführen oder stützt sich auf die Ermittlungen Dritter. Das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) empfiehlt geeignete Mess- und Berechnungsmethoden.

³ ...

Erfahrungsgemäss kann eine rechnerische Prognose die reale Strahlungsbelastung nicht in allen Feinheiten wiedergeben. Eine abschliessende Aussage über die Intensität der Strahlung kann daher nur eine Messung liefern. Mit der vorliegenden Empfehlung kommt das BUWAL seinem Auftrag nach, geeignete Messmethoden zu empfehlen.

Die vorliegende Empfehlung gilt für **Abnahmemessungen**. Abnahmemessungen werden auf Verlangen der zuständigen Behörde durchgeführt, in der Regel immer dann, wenn gemäss der rechnerischen Prognose die NIS-Belastung den Anlagegrenzwert zu mindestens 80 % erreicht. Eine Abnahmemessung dient dazu, verbindlich festzustellen, ob der Anlagegrenzwert im massgebenden Betriebszustand der Anlage eingehalten wird.¹ Das Ergebnis einer Abnahmemessung bildet ausserdem die Grundlage, um eine Erhöhung der Sendeleistung zu beantragen.

Die vorliegende Empfehlung behandelt die Messung der Strahlung von **GSM-Antennen**. Sendeanlagen, welche ausschliesslich GSM-Antennen beinhalten, können mit der vorliegenden Messempfehlung vollständig gemessen und beurteilt werden. Mobilfunksendeanlagen, bei denen neben GSM- noch UMTS-, Tetrapol-, TETRA- oder WLL-Antennen vorhanden sind, können mit der vorliegenden Empfehlung allein nicht

¹ Ergänzend zur Abnahmemessung können später **Kontrollmessungen** durchgeführt werden. Kontrollmessungen haben einen anderen Zweck und liefern eine andere Aussage als die Abnahmemessung. Mit der Abnahmemessung wird festgestellt, ob der Anlagegrenzwert im ungünstigsten Fall, der gemäss Bewilligung eintreten kann, eingehalten ist. Mit der Kontrollmessung wird die NIS-Belastung im realen Betrieb der Anlage festgestellt.

abschliessend beurteilt werden. Bei solchen Anlagen muss auch die Strahlung der letztgenannten Antennen gemessen und in die Beurteilung einbezogen werden.²

NIS-Messungen im Hochfrequenzbereich sind anspruchsvoll und bedingen ein grosses Fachwissen. Die vorliegende Empfehlung richtet sich daher in erster Linie an Fachleute, die mit Hochfrequenzmessungen vertraut sind. Sie dient gleichzeitig auch als Grundlage für die Akkreditierung von Messlabors in diesem Bereich.

² Für die Messung und Beurteilung der Strahlung dieser genannten Funkdienste, allein oder in Kombination mit GSM-Strahlung, sind spezifische Empfehlungen in Vorbereitung. Die Messmethoden sind grundsätzlich gleich wie für GSM-Strahlung, wobei jedoch die technischen Besonderheiten der jeweiligen Funkdienste zu berücksichtigen und auszunützen sind. Tetrapol-Strahlung kann weitgehend mit gleichen Methoden und gleicher Instrumentierung gemessen werden wie GSM-Strahlung.

2 GSM-Technik

2.1 Das GSM-Mobilfunksystem

GSM (Global System for Mobile Communication) ist die Bezeichnung für die Mobilfunktechnik der 2. Generation, wie sie heute in der Schweiz in Betrieb ist. GSM ist ein zellulares Mobilfunksystem. Das Versorgungsgebiet eines Netzbetreibers ist in Funkzellen eingeteilt, die jeweils von einer Basisstation aus versorgt werden. Einer Funkzelle sind eine oder mehrere Sendefrequenzen (Kanäle) zugeordnet, welche erst in einer entfernten Zelle wieder gebraucht werden dürfen, damit keine gegenseitigen Störungen auftreten.

Für ein Gespräch baut das Mobiltelefon eine Funkverbindung zur nächstgelegenen Basisstation auf. Von der Basisstation geht das Gespräch dann über Leitungen oder über Richtfunkverbindungen zur Mobilfunkvermittlungszentrale.

An einem Antennenmast oder auf einem Hausdach können die Antennen eines oder mehrerer Mobilfunk-Netzbetreiber montiert sein. Ein Antennenstandort eines Netzbetreibers bedient eine oder mehrere Funkzellen (normalerweise nicht mehr als 3 Zellen im gleichen Frequenzband).

Die Einteilung der Funkzellen und die Zuteilung der Frequenzen zu den Funkzellen eines Netzbetreibers wird regelmässig (nach einigen Monaten) wieder neu optimiert, so dass mit den gegebenen Antennenstandorten und Frequenzen ein möglichst grosses Gebiet abgedeckt werden kann und die Zellen das erwartete Gesprächsaufkommen möglichst optimal verarbeiten können.

2.2 Die Funkschnittstelle

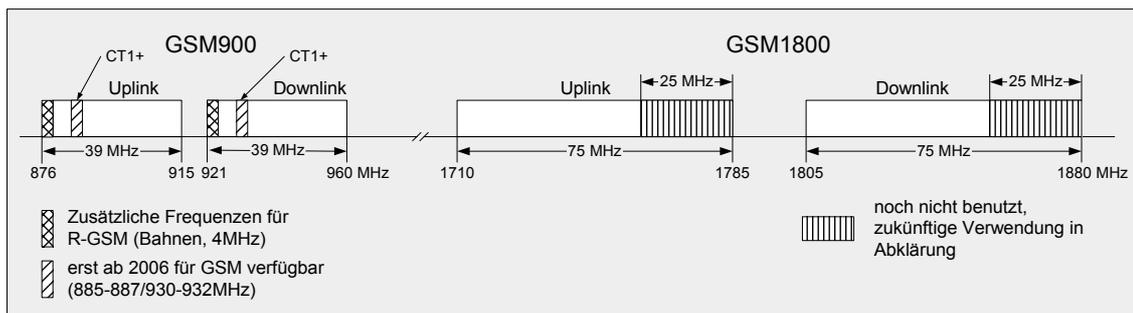
Die Verbindung auf der Funkschnittstelle zwischen dem Mobiltelefon und der Basisstation funktioniert nach einem kombinierten Frequenzmultiplex- und Zeitmultiplex-Verfahren.

In der Schweiz sind für GSM zurzeit folgende Frequenzen zugewiesen oder vorgesehen (vgl. Figur 1):

GSM 900: Sendefrequenz der Mobilgeräte: 876 MHz – 915 MHz (Uplink)
Sendefrequenz der Basisstationen: 921 MHz – 960 MHz (Downlink)

GSM 1800: Sendefrequenz der Mobilgeräte: 1710 MHz – 1785 MHz (Uplink)
Sendefrequenz der Basisstationen: 1805 MHz – 1880 MHz (Downlink)

Die vorliegende Messempfehlung befasst sich nur mit der Strahlung der GSM-Basisstationen. Massgebend sind demnach die Downlink-Frequenzen.



Figur 1: Für GSM reservierte Frequenzbänder in der Schweiz.

2.3 Steuerkanal und Gesprächskanäle

Eine Basisstation sendet in der Regel auf mehreren, fest zugeordneten Frequenzen. Jede Frequenz bildet einen (physikalischen) **Kanal**. Jeder Kanal organisiert die zu übertragende Information in acht Zeitschlitzten mit einem Zeitbereich-Mehrfachzugriff (TDMA, time domain multiple access). Die Zeitschlitzte von 0.58 ms Länge werden alle 4.615 ms (217 Hz) wiederholt. Über jeden dieser Zeitschlitzte können unabhängig voneinander Informationen übertragen werden. Auf einer Sendefrequenz, d.h. auf einem Kanal, sind somit gleichzeitig maximal acht Gespräche (oder andere Informationsübertragungen) möglich.

Für jede Funkzelle der Basisstation gibt es mindestens einen Kanal, welcher immer mit konstanter Leistung ausgesendet wird. Es handelt sich um den sog. BCCH (Steuerkanal, broadcast control channel). Dieser dient unter anderem dazu, dem Mobiltelefon anzuzeigen, welche Basisstationen in der Nähe aktiv sind. Der BCCH wird für den Verbindungsaufbau gebraucht. Das Mobiltelefon kann aus dem Empfangspegel der verschiedenen BCCH-Frequenzen beurteilen, welche Funkzelle für den aktuellen Standort am günstigsten ist. Die Steuersignale belegen allerdings nicht alle acht Zeitschlitzte, so dass auf der BCCH-Frequenz auch Gespräche übertragen werden können. Sind nicht alle Zeitschlitzte des BCCH mit Steuersignalen oder Gesprächen belegt, so werden die noch freien Zeitschlitzte durch Leerinformationen aufgefüllt. Auf der Frequenz des Steuerkanals wird somit immer mit konstanter Leistung gesendet. Diese Tatsache wird beim frequenzselektiven Messverfahren (siehe Kapitel 6) ausgenützt.

Zum BCCH kommen im Normalfall eine bis mehrere weitere Frequenzen hinzu, über die vorwiegend Gespräche übertragen werden. Auf einem solchen sog. TCH (Gesprächskanal, traffic channel) wird – im Gegensatz zum BCCH – nur dann Leistung abgestrahlt, wenn Gespräche zu übertragen sind. Die Sendeleistung der TCH ist daher nicht konstant, sondern schwankt kurzfristig parallel zur Auslastung des Netzes. Dazu kommt, dass die Sendeleistung für jeden Zeitschlitz dynamisch reguliert werden kann (s. Abschnitt 2.4.1).

2.4 Zusätzliche Spezialfunktionen auf der Funkschnittstelle

Moderne Netzkonfigurationen benützen weitere Spezialfunktionen, um die Qualität des Netzes zu verbessern.

2.4.1 Leistungsregelung (Power Control)

Mit der Leistungsregelung wird die Sendeleistung individuell für jede Verbindung so weit reduziert, wie dies ohne Verschlechterung der Verbindungsqualität möglich ist. Dadurch wird die Batterie des Mobiltelefons weniger belastet, und im ganzen Netz wird die Interferenz zwischen den Funkzellen reduziert. Diese Funktion ist bei den Mobiltelefonen standardmässig und bei der Basisstation in der Regel implementiert. Dabei wird die Sendeleistung der Basisstation für jeden Zeitschlitz separat geregelt. Die gesamte Sendeleistung einer Basisstation wird damit nicht nur abhängig von der Anzahl aktueller Gespräche, sondern auch vom aktuellen Standort der beteiligten Mobiltelefone. Eine Ausnahme macht bei GSM-Basisstationen der BCCH, welcher immer mit konstanter Leistung betrieben wird.

2.4.2 Frequenzhüpfen (Slow Frequency Hopping)

Bei jedem neuen GSM-Zeitschlitz hüpfen Sender und Empfänger auf einen anderen der zur Verfügung stehenden Kanäle (Frequenzen). Dadurch wird die Störempfindlich-

keit der Verbindung bei Mehrwegausbreitung reduziert. Die Anzahl der dabei benützten Frequenzen kann höher sein als bei einem System ohne Frequenzhüpfen mit gleicher Sendeleistung. Für die Hochrechnung auf Vollbetrieb ist bei Systemen mit Frequenzhüpfen jedoch nicht die Anzahl effektiv benützter Kanäle massgebend, sondern die Anzahl Kanäle, welche gleichzeitig aktiv sein können.

2.4.3 Sprachastastung (Discontinuous Transmission)

Falls diese Funktion eingeschaltet ist, stellt das System laufend fest, ob ein Sprachsignal vorhanden ist. In den Sprechpausen wird die Datenübertragungsrate reduziert und so Batteriekapazität gespart. Anstelle des Gesprächssignals wird ein synthetisches Rauschen aufgeschaltet (Comfort noise), damit der Gesprächspartner nicht den Eindruck bekommt, das Gespräch sei abgebrochen. Diese Funktion ist in beiden Übertragungsrichtungen (Uplink und Downlink) möglich.

3 Anforderungen der NISV

Die für Mobilfunk-Basisstationen relevanten Bestimmungen finden sich in Anhang 1 Ziffer 6 der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV):

Anhang 1 NISV
.....
6 Sendeanlagen für Mobilfunk und drahtlose Teilnehmeranschlüsse
61 Geltungsbereich
¹ Die Bestimmungen dieser Ziffer gelten für Sendeanlagen von zellularen Mobilfunknetzen und von Sendeanlagen für drahtlose Teilnehmeranschlüsse mit einer gesamten äquivalenten Strahlungsleistung (ERP) von mindestens 6 W.
² Sie gelten nicht für Richtfunkanlagen.
62 Begriffe
¹ Als Anlage gelten alle Sendeantennen für die Funkdienste nach Ziffer 61, die auf demselben Mast angebracht sind oder die in einem engen räumlichen Zusammenhang, namentlich auf dem Dach des gleichen Gebäudes, stehen.
² Als Änderung gilt die Erhöhung der maximalen äquivalenten Strahlungsleistung (ERP) oder die Änderung von Senderichtungen.
63 Massgebender Betriebszustand
Als massgebender Betriebszustand gilt der maximale Gesprächs- und Datenverkehr bei maximaler Sendeleistung.
64 Anlagegrenzwert
Der Anlagegrenzwert für den Effektivwert der elektrischen Feldstärke beträgt:
a. für Anlagen, die ausschliesslich im Frequenzbereich um 900 MHz senden: 4.0 V/m;
b. für Anlagen, die ausschliesslich im Frequenzbereich um 1800 MHz oder in einem höheren Frequenzbereich senden: 6.0 V/m;
c. für Anlagen, die sowohl in Frequenzbereichen nach Buchstabe a als auch nach Buchstabe b senden: 5.0 V/m.
65 Neue und alte Anlagen
Neue und alte Anlagen müssen im massgebenden Betriebszustand an Orten mit empfindlicher Nutzung den Anlagegrenzwert einhalten.

Nach Anhang 1 Ziffer 61 NISV gehören nur diejenigen Sendeantennen zur Anlage, welche für zellulare Mobilfunknetze (zur Zeit die Netze GSM900, GSM1800, GSM-Rail, UMTS, Tetrapol und TETRA) sowie für WLL eingesetzt werden. Antennen für alle übrigen Funkdienste (z.B. Rundfunk, Telepage, Betriebsfunk, Amateurfunk) bilden nach Anhang 1 Ziffer 7 NISV eine eigene Anlagekategorie. Richtfunkantennen werden grundsätzlich nicht als Bestandteil der Anlage betrachtet. Die Behörde legt bereits im Bewilligungsverfahren fest, welche Sendeantennen in die Beurteilung einzubeziehen sind. Die Liste dieser Sendeantennen, zusammen mit ihren technischen Daten, findet sich im Standortdatenblatt, welches der Behörde im Bewilligungsverfahren einzureichen ist.

Bei der Abnahmemessung einer Anlage ist die Strahlung aller Sendeantennen zu erfassen, welche zu dieser Anlage gehören³. Die vorliegende Messempfehlung gilt für den Teil der Strahlung, welcher von den GSM-Antennen stammt.

Der massgebende Betriebszustand (maximaler Gesprächs- und Datenverkehr bei maximaler Sendeleistung) wird eher selten vorliegen. Es ist auch nicht ohne weiteres möglich, diesen Betriebszustand während der Zeit der Messung gezielt herzustellen. In der Regel wird die Messung daher beim realen Betrieb der Anlage durchgeführt, und das Messergebnis wird anschliessend auf den massgebenden Betriebszustand hochgerechnet.

Falls für die Senderichtung der Antennen ein Winkelbereich bewilligt wurde, müssen die Antennen während der Abnahmemessung so ausgerichtet werden, dass ihre Hauptstrahlrichtung der kritischen Senderichtung entspricht.

Der Anlagengrenzwert muss nur an Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN) eingehalten werden. Diese Orte sind in Artikel 3 Absatz 3 NISV abschliessend festgelegt. In Zweifelsfällen entscheidet die Behörde im Bewilligungsverfahren, ob eine empfindliche Nutzung vorliegt. In der Regel legt der Auftraggeber fest, an welchen Orten zu messen ist.

Art. 3 Begriffe

.....

³ Als Orte mit empfindlicher Nutzung gelten:

- a. Räume in Gebäuden, in denen sich Personen regelmässig während längerer Zeit aufhalten;
- b. öffentliche oder private, raumplanungsrechtlich festgesetzte Kinderspielplätze;
- c. diejenigen Flächen von unüberbauten Grundstücken, auf denen Nutzungen nach den Buchstaben a und b zugelassen sind.

Erfahrungsgemäss schwankt die Strahlung gerade in Innenräumen örtlich beträchtlich. Für die NIS-Beurteilung soll der örtlich höchste Wert der NIS-Belastung, der an einem gegebenen OMEN auftritt, zugrunde gelegt werden.

Messungen sind immer mit einer Unsicherheit verbunden, welche im Fall von Mobilfunkstrahlung beträchtlich ist. Die wahre Belastung kann somit höher oder niedriger sein, als der Messwert anzeigt. Der wahrscheinlichste Wert ist allerdings derjenige, welcher am Messgerät abgelesen wird. Für die NIS-Beurteilung soll der abgelesene Messwert zu Grunde gelegt werden, auf Zu- oder Abschläge der Messunsicherheit ist zu verzichten. Flankierend wird in Abschnitt 4.8.4 die maximal zulässige Messunsicherheit und damit eine Anforderung an die Qualität der Messeinrichtung festgelegt.

³ Von diesem Grundsatz kann abgewichen werden, wenn folgende Voraussetzungen kumulativ erfüllt sind:

- Es handelt sich um die Änderung einer bestehenden Anlage.
- Die Änderung betrifft nur einzelne Antennen der Anlage.
- Es sind nach der Änderung die gleichen OMEN am stärksten exponiert wie vor der Änderung.
- Es liegt für die bestehende Anlage bereits eine vollständige Abnahmemessung an den höchstbelasteten OMEN vor.

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, dann muss nur die Strahlung der geänderten Antennen neu gemessen werden. Für den unveränderten Teil der Anlage dürfen die Messresultate der früheren Abnahmemessung verwendet und in den neuen Messbericht übernommen werden.

4 Grundsätzliches zur Messung

4.1 Betrieb der Anlage während der Messung

Wenn für die Senderrichtungen ein Winkelbereich bewilligt wurde, dann müssen die Sendeantennen während der Abnahmemessung so ausgerichtet werden, dass ihre Hauptstrahlrichtung mit der kritischen Senderichtung übereinstimmt. Die kritische Senderichtung ist im Standortdatenblatt für jede Sendeantenne festgehalten. Sie kann für jeden Messort anders sein.⁴

Die Anlage muss während der Messung nicht notwendigerweise mit voller Sendeleistung und Auslastung betrieben werden. Messwerte bei einem andern Betriebszustand können anschliessend auf den massgebenden Betriebszustand hochgerechnet werden (Abschnitt 4.2.2).

4.2 Messwert und Beurteilungswert

4.2.1 Messwert

Zu messen ist der Effektivwert der elektrischen Feldstärke aller GSM-Sendeantennen, die zur Anlage gehören (Ausnahme siehe Kapitel 3, Fussnote 3). Durch geeignetes Abtasten des Raumes wird sichergestellt, dass man die örtlich höchste Feldstärke erfasst.

Man erhält einen oder mehrere **Messwerte**, je nachdem, welches Messverfahren verwendet wird (Kapitel 5 und 6).

4.2.2 Beurteilungswert

Die Messwerte werden anschliessend auf den massgebenden Betriebszustand hochgerechnet und – sofern mehrere BCCH einzeln erfasst wurden – summiert. Als Ergebnis resultiert der sog. **Beurteilungswert** E_B . Der Beurteilungswert ist diejenige Intensität von GSM-Strahlung, die man – als örtliches Maximum – messen würde, wenn die Anlage im massgebenden Betriebszustand, d.h. auf Volllast, betrieben würde.

Die Messunsicherheit wird bei der Berechnung des Beurteilungswertes nicht einbezogen, d.h., man geht bei der Hochrechnung von den abgelesenen Messwerten aus.

Wenn die Sendeanlage nur GSM-Antennen beinhaltet, dann darf der ermittelte Beurteilungswert direkt mit dem Anlagegrenzwert der NISV verglichen werden. Der Anlagegrenzwert gilt als eingehalten, wenn der Beurteilungswert kleiner oder gleich dem Anlagegrenzwert ist.

Sind andere Mobilfunkdienste auf der Anlage vorhanden (z.B. UMTS oder Tetrapol), dann müssen auch deren Strahlungsbeiträge gemessen und mit dem GSM-Anteil zu einem Beurteilungswert für die ganze Anlage summiert werden.

⁴ Bei Kontrollmessungen (siehe Kapitel 1) kann darauf verzichtet werden, die Antennen in die jeweils kritische Richtung auszurichten. Bei Kontrollmessungen interessiert der tatsächliche Betriebszustand, nicht der potenziell höchstbelastende.

4.3 Anforderungen an Messfirmen und Messpersonen

Messungen nach dieser Empfehlungen sollen von fachkundigen Personen durchgeführt werden.

Eine Akkreditierung des Messlabors für Messungen nach dieser Empfehlung ist von Vorteil, aber nicht Voraussetzung. Dem Auftraggeber und der Behörde ist es freigestellt, auch Messungen von nicht akkreditierten Firmen zu akzeptieren, sofern diese die geforderte Qualität der Messausrüstung und der Messdurchführung gewährleisten. Im Falle einer Akkreditierung bestätigt die Schweiz. Akkreditierungsstelle, dass in einer Firma die benötigte Fachkompetenz und Qualitätssicherung vorhanden sind. Bei einer nicht akkreditierten Firma liegt dieser Nachweis nicht extern beglaubigt vor. Der Auftraggeber muss sich in diesem Fall selber vergewissern, ob der Auftragnehmer über eine ausreichende Fachkompetenz und Qualitätssicherung verfügt.

4.4 Angaben des Auftraggebers und der Netzbetreiber

Vom **Auftraggeber** der Messung müssen die folgenden Angaben vorhanden sein:

- Standortdatenblatt mit Situationsplan. Im Standortdatenblatt sind alle Sendeantennen aufgeführt, welche zur Anlage gehören, inkl. den bewilligten technischen und betrieblichen Daten.
- Vorgabe, in welchen Räumen und an welchen Messorten die Messung durchgeführt werden soll.
- Adresse der Personen, die für den Zugang zu den Räumen zuständig sind.

Die **Netzbetreiber** müssen folgende technischen Daten, die für den Zeitpunkt der Messung gültig sind, zur Verfügung stellen:

- Aktuelle Zuteilung der BCCH- und TCH-Frequenzen zu den einzelnen Zellen
- Kennzeichnung der Zellen mit Frequenzhöfen und aktuelle Zuteilung der Frequenzen für den Betrieb mit Frequenzhöfen
- Aktuelle Aufteilung der Frequenzen auf die einzelnen Antennen und Polarisierungen
- Aktuelle Sendeleistungen auf den BCCH-Frequenzen
- Aktuelle (maximale) Sendeleistungen auf den TCH-Frequenzen
- Aktuelle Senderichtungen der einzelnen Antennen während der Messung.

4.5 Ort der Messung

Es ist an Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN, siehe Kapitel 3) zu messen. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um Innenräume. Falls die Fenster geöffnet werden können, ist bei offenen Fenstern zu messen.

Der Verlauf der Feldstärke in Innenräumen kann sehr unterschiedlich sein und schwankt relativ kleinräumig infolge von Reflexionen und Stehwellen im Raum. Bei mehreren BCCH-Frequenzen überlagern sich die Stehwellen der verschiedenen Frequenzen im Raum zu einem komplizierten Bild. Zudem wird der Feldverlauf auch durch die Anwesenheit von Personen und Mobiliar im Raum verändert. Dabei wird zwar der Wert der Maxima wenig geändert, aber deren Position im Raum verschoben.

Mit der Messung soll grundsätzlich die höchste im Raum vorkommende Feldstärke ermittelt werden. Zu diesem Zweck muss der Raum mit der Messsonde bzw. -antenne abgetastet werden, wobei besondere Sorgfalt auf diejenigen Raumbereiche zu verwenden ist, in denen das Maximum erkennbar ist. Bezüglich der Höhe kann man sich in der Regel auf den Bereich bis zu 1.75 m über dem Fussboden beschränken. Nur in besonderen Situationen, wenn ein Langzeitaufenthalt von Personen in grösserer Höhe möglich ist, ist das Suchvolumen entsprechend auszuweiten.

Aus messtechnischen Gründen darf die Antenne nie näher als 0.5 m zu Wänden, Boden, Decke und Mobiliar geführt werden.

Mit einer Skizze oder Foto soll dokumentiert werden, welcher Teil des Raumes bei der Maximumsuche abgetastet wurde.

4.6 Zeitpunkt und Dauer der Messung

Der Zeitpunkt der Messung ist unkritisch. Einzige Voraussetzung ist, dass die BCCH während der Messung aktiv sind und mit der vom Netzbetreiber angegebenen Leistung betrieben werden. Bei breitbandigen Messungen wird der Beurteilungswert allerdings dann am ehesten die wahre GSM-Feldstärke wiedergeben, wenn während der Messung nur die BCCH aktiv sind. Wenn während der Messung auch ein oder mehrere TCH aktiv sind, dann wird die GSM-Feldstärke bei der breitbandigen Messung eher überschätzt.

Die Messdauer ist ebenfalls unkritisch. Es ist insbesondere nicht notwendig, eine Mittelung während 6 Minuten durchzuführen.

4.7 Breitbandige und frequenzselektive Messung

Die **breitbandige** Messung (Kapitel 5) dient als orientierende Messung. Es wird mit einer Breitbandsonde gemessen, welche die Strahlung in einem breiten Frequenzbereich erfasst und keine Identifikation der einzelnen Strahlungsanteile erlaubt.

Wenn der Beurteilungswert, der sich aus einer breitbandigen Messung ergibt, den Anlagegrenzwert nicht überschreitet, dann gilt der Anlagegrenzwert als eingehalten. Wenn der Beurteilungswert hingegen höher ist als der Anlagegrenzwert, dann bedeutet dies nicht zwingend, dass der Anlagegrenzwert tatsächlich überschritten ist. In diesem Fall muss eine frequenzselektive Messung durchgeführt werden. Mit einer breitbandigen Messung lässt sich somit grundsätzlich nur die Einhaltung des Anlagegrenzwertes nachweisen, nicht aber dessen Überschreitung.

Mit einer **frequenzselektiven** Messung (Kapitel 6) wird gezielt nur die GSM-Strahlung der zu messenden Anlage erfasst.

Wenn der Beurteilungswert, der sich aus einer frequenzselektiven Messung ergibt, den Anlagegrenzwert nicht überschreitet, dann gilt der Anlagegrenzwert als eingehalten. Andernfalls gilt der Anlagegrenzwert als überschritten. Sind andere Mobilfunkdienste auf der Anlage vorhanden (z.B. UMTS oder Tetrapol), dann müssen deren Strahlungsbeiträge ebenfalls gemessen und mit dem GSM-Anteil zu einem Beurteilungswert für die ganze Anlage summiert werden.

4.8 Messunsicherheit und Kalibration

4.8.1 Allgemeines zur Messunsicherheit

Jede Messung ist mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Dies hat zur Folge, dass wiederholte Messungen derselben Situation durch verschiedene Messpersonen und mit unterschiedlicher Messausrüstung voneinander abweichende Resultate ergeben.

Die gesamte Unsicherheit des Messresultates setzt sich aus zwei Beiträgen zusammen:

- einer instrumentellen Unsicherheit, bedingt durch Geräte- und Kalibrierungsgenauigkeiten. Dieser Anteil der Unsicherheit wird im folgenden als „Unsicherheit der Messeinrichtung“ bezeichnet.
- einer methodenbedingten Unsicherheit, im folgenden als „Unsicherheit der Probenahme“ bezeichnet. Hier gehen beispielsweise individuell unterschiedliche Vorgehensweisen verschiedener Messpersonen zum Auffinden des örtlichen Maximums ein. Nicht eingeschlossen wird hingegen die Variabilität, die sich bei Breitbandmessungen aus der zeitlich veränderlichen Auslastung der Anlage und dem Einfluss von anlagefremden Funksignalen ergibt.

Statistisch unterscheidet man zwischen der Standardunsicherheit u und der erweiterten Unsicherheit U .

- Die Standardmessunsicherheit entspricht der Standardabweichung der Verteilung der Messgrösse.
- Die erweiterte Messunsicherheit definiert den Bereich, innerhalb dessen die Messgrösse mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit liegt (normalerweise wird eine Wahrscheinlichkeit von 95% festgelegt).

Die Standardunsicherheit u des Messresultates wird aus der Unsicherheit der Messeinrichtung und der Unsicherheit der Probenahme wie folgt berechnet:

$$u = \sqrt{u_m^2 + u_p^2} \quad (1)$$

Es bedeuten:

u	Standardunsicherheit des Messresultates
u_m	Standardunsicherheit der Messeinrichtung
u_p	Standardunsicherheit der Probenahme

Die erweiterte Messunsicherheit U beträgt:

$$U = 2 \cdot u \quad (2)$$

4.8.2 Unsicherheit der Messeinrichtung

Im Idealfall ist die Messeinrichtung mit einem Signal kalibriert, welches bezüglich Frequenz, Intensität, Polarisation und Modulation genau dem zu messenden Mobilfunktssignal entspricht. Wenn auch noch die Temperatur während der Kalibration mit der Temperatur bei der Messung übereinstimmt, dann ist die Messunsicherheit im Wesentlichen nur durch die Unsicherheit der Kalibration gegeben.

In der Praxis sind die zu messenden Situationen allerdings zu vielfältig und häufig auch zu wenig klar definiert, als dass für jeden Einzelfall eine spezifische Kalibration

der Messeinrichtung möglich wäre. Man muss sich bei der Kalibration deshalb auf eine oder wenige ausgewählte Referenzbedingungen beschränken. Beispielsweise werden Breitbandsonden oft nur bei einer einzigen Frequenz und einem bestimmten Pegel kalibriert. Die Empfindlichkeit der Sonde bei anderen Frequenzen wird vom Hersteller für den jeweiligen Sondentyp (nicht für jede Sonde individuell) in Form einer maximalen Abweichung relativ zum Kalibrierpunkt spezifiziert. Ähnliches gilt für den Intensitätsbereich: Hier können Abweichungen vom idealen linearen Verhalten der Sonde auftreten, welche der Hersteller ebenfalls als maximale Abweichung spezifiziert. Diese und weitere nichtideale Eigenschaften der Messeinrichtung erhöhen die Messunsicherheit des Messresultats.

Grundsätzlich ist anzustreben, solche Nichtidealitäten durch Kalibration und anschließende numerische Korrektur zu kompensieren. So kann bei einer frequenzselektiven Messeinrichtung beispielsweise ein Korrekturfaktor bei verschiedenen Frequenzen bestimmt werden. Jeder Messwert wird dann mit dem für die betreffende Frequenz gültigen Korrekturfaktor numerisch korrigiert. Auch in diesem Fall verschwindet die Unsicherheit nicht gänzlich, weil der Korrekturfaktor selbst noch mit einer Unsicherheit behaftet ist und im allgemeinen zwischen zwei Kalibrierpunkten interpoliert werden muss. Diese verbleibende Unsicherheit ist jedoch erheblich kleiner als wenn nur eine Spezifikation für die maximale Abweichung über den gesamten Frequenzbereich zur Verfügung steht. Bei Breitbandsonden ist die beschriebene Korrektur allerdings nur dann möglich, wenn am Messort nur Strahlung eines einzigen Frequenzbandes vorliegt. Ist dies nicht gewährleistet, dann ist zusätzlich der Frequenzgang der Sonde in die Berechnung der Messunsicherheit einzubeziehen.

Die Unsicherheit der Messeinrichtung ist aufgrund der Geräte- und Kalibrierspezifikationen vom beauftragten Messlabor zu berechnen und im Messbericht anzugeben. Sie kann je nach Frequenzband unterschiedlich hoch sein. In diesem Fall ist sie für jedes Frequenzband, in dem die Messeinrichtung verwendet wird, separat zu ermitteln.

Bei der Berechnung der Unsicherheit der Messeinrichtung sind mindestens die folgenden Einflussfaktoren zu berücksichtigen:

Breitbandsonden

- Unsicherheit der Kalibration
- Linearitätsabweichung
- Frequenzgang
- Isotropieabweichung
- Modulationseinfluss
- Temperaturabhängigkeit

Bei Breitbandsonden muss darauf geachtet werden, dass der gemessene Wert im spezifizierten Messbereich der Sonde (Pegel und Frequenz) liegt.

Frequenzselektive Messausrüstung

- Unsicherheit der Kalibration des Messgerätes
- Linearitätsabweichung des Messgerätes
- Frequenzgang des Messgerätes
- Modulationsabhängigkeit des Messgerätes
- Temperaturabhängigkeit des Messgerätes
- Unsicherheit der Antennenkalibration
- Unsicherheit der Kabelkalibration
- Fehlanpassungen

Beispiele für die Berechnung der Unsicherheit der Messeinrichtung sind in Anhang 1 zusammengestellt.

4.8.3 Unsicherheit der Probenahme

Die Unsicherheit der Probenahme kann durch das messende Labor nicht beliebig verkleinert werden.

Aufgrund der bisherigen Erfahrung muss mit einer Standardunsicherheit der Probenahme u_p von $\pm 15\%$ gerechnet werden. Dieser Wert gilt bei sorgfältiger Durchführung der Messung. Er ist bei der Berechnung der gesamten Messunsicherheit als fixer Beitrag einzusetzen.

Bei der Breitbandmessung vergrößern die variable Auslastung der Basisstation sowie der Einfluss von Fremdsignalen die Streuung der Messresultate zusätzlich. Diese Einflüsse haben immer eine Überschätzung der GSM-Feldstärke zur Folge, entziehen sich jedoch weitgehend einer statistischen Behandlung. Sie werden deshalb in der Unsicherheit der Probenahme nicht eingeschlossen.

4.8.4 Anforderung an die Messunsicherheit

Die gesamte erweiterte Messunsicherheit U soll den Wert von $\pm 45\%$ nicht überschreiten. Dies bedeutet, dass die Standardunsicherheit der Messeinrichtung in jedem Frequenzband, in dem sie eingesetzt wird, nicht mehr als $\pm 16.7\%$, die erweiterte Unsicherheit der Messeinrichtung nicht mehr als $\pm 33.5\%$ betragen darf. Messungen sollen nur akzeptiert werden, wenn diese Anforderung erfüllt ist.

In Tabelle 1 sind die zulässigen Unsicherheiten zusammengestellt. Für die Unsicherheit der Probenahme ist ein konstanter Wert zu verwenden; die Unsicherheit der Messeinrichtung ist durch das Messlabor für seine Messausrüstung zu berechnen.

	Standardunsicherheit	Erweiterte Unsicherheit
Unsicherheit der Messeinrichtung	$U_m \leq \pm 16.7\%$	$U_m \leq \pm 33.5\%$
Unsicherheit der Probenahme	$U_p = \pm 15\%$	$U_p = \pm 30\%$
Gesamte Messunsicherheit	$u \leq \pm 22.5\%$	$U \leq \pm 45\%$

Tabelle 1: Anforderungen an die Messunsicherheit.

4.8.5 Kalibration

Die Messgeräte, Antennen und Kabel sollen im Abstand von 1 Jahr bei einer anerkannten Kalibrierstelle kalibriert werden.

Die Kalibrierzertifikate müssen vorliegen und dem Auftraggeber auf Wunsch vorgelegt werden.

4.9 Messbericht

Der Messbericht soll so detailliert sein, dass alle Schritte der Messung und der Weiterverarbeitung der Messwerte nachvollzogen werden können. Er muss mindestens die folgenden Angaben enthalten:

- Bezug auf das Standortdatenblatt
- Angaben des Auftraggebers
- Angaben der Netzbetreiber
- Angaben über Messzeit und beteiligte Personen
- Angaben zu den Messorten (Skizze, Fotos, Begründung)
- Angaben über den Raumbereich, in dem das Maximum gesucht wurde
- Angaben über die verwendeten Messgeräte und deren Messunsicherheit
- Angaben über die gesamte Messunsicherheit
- Messergebnisse und Beurteilungswerte (detailliert, mit Berechnung der Beurteilungswerte)
- Weitere Randbedingungen wie Wetter, besondere, ev. temporäre bauliche Verhältnisse u.a.

5 Breitbandige Messung

5.1 Messmethode

Mit einer isotropen Breitbandsonde wird die elektrische Feldstärke an einem Punkt im Raum in einem relativ breiten Frequenzbereich integral gemessen. Das Ergebnis ist die Summenfeldstärke am gegebenen Punkt, wobei alle Frequenzen im spezifizierten Frequenzbereich der Sonde und alle Polarisierungen automatisch aufsummiert werden. Diese Methode ergibt zwar einen physikalisch sauber definierten Messwert an einem Raumpunkt, erfasst aber nicht auf Anhieb den höchsten Feldstärkewert im Messvolumen.

Es muss daher das ganze Messvolumen mit der handgeführten Breitbandsonde abgetastet und dabei das Feldstärke-Maximum gesucht werden. Dabei muss sorgfältig darauf geachtet werden, dass die zeitlichen Schwankungen der NIS-Belastung, welche sich aus der variablen Auslastung der Sendeanlage und infolge von Fremdstrahlung ergeben, während des Ab tastens nicht fälschlicherweise als örtliche Schwankungen interpretiert werden. Das Ab tasten muss genügend langsam erfolgen, damit sich das Messinstrument auf die Maximalwerte einschwingen kann und der Messwert nicht durch die Bewegung im elektrostatischen Feld verfälscht wird.

Massgebend für die Berechnung des Beurteilungswertes ist der höchste im Messvolumen gemessene Wert E_{max} .

5.2 Messeinrichtung

Als Messgeräte können isotrope Breitbandsonden verwendet werden, die für die zu messenden Frequenzbänder spezifiziert sind und im erwarteten Pegelbereich die in Abschnitt 4.8.4 festgelegte zulässige Messunsicherheit nicht überschreiten.

Gewisse Sonden sind nur in einem beschränkten Frequenzbereich (z.B. zwischen 900 und 1800 MHz) empfindlich. Damit ist die Wahrscheinlichkeit geringer, dass Strahlung von anlagefremden Funkdiensten mitgemessen wird. Trotzdem gelten auch solche Sonden als Breitbandsonden, da sie keine frequenzselektive Messung und keine Identifikation einzelner GSM-Kanäle erlauben. Es gelten für solche Messsysteme die gleichen Bemerkungen und Einschränkungen wie für die traditionellen Breitbandsonden. Auch mit solchen Messsystemen kann daher grundsätzlich nur die Einhaltung des Anlagegrenzwertes, nicht jedoch dessen Überschreitung nachgewiesen werden. Wegen ihrer eingeschränkten Empfindlichkeit für Fremdsignale liegt jedoch der aus einer solchen Messung abgeleitete Beurteilungswert näher beim Beurteilungswert aus einer frequenzselektiven Messung. Man wird daher beim Einsatz solcher Sonden tendenziell häufiger auf eine frequenzselektive Messung verzichten können als bei der Verwendung traditioneller Breitbandsonden.

5.3 Berechnung des Beurteilungswertes

Weil der aktuelle Betriebszustand der Anlage nicht bekannt ist, wird im Sinne einer *worst case*-Betrachtung angenommen, dass während der Messung nur gerade die BCCH aktiv sind, und dass keine Fremdquellen vorhanden sind. Für jede Zelle i , die von der Anlage versorgt wird, wird ein Hochrechnungsfaktor K_i nach der folgenden Formel berechnet:

$$K_i = \sqrt{\frac{P_{i,bew}}{P_i}} \quad (3)$$

Dabei bedeuten:

- K_i Hochrechnungsfaktor für die Zelle i
- P_i **Aktuelle** Sendeleistung (ERP) des BCCH von Zelle i , in W
- $P_{i,bew}$ **Bewilligte** Sendeleistung (ERP) der Zelle i , in W (BCCH und alle TCH der Zelle i)

Da grundsätzlich nicht bekannt ist, welcher BCCH am Messort dominiert, wird als Hochrechnungsfaktor K für die Berechnung des Beurteilungswertes der grösste der Faktoren K_i eingesetzt. Typische Werte des Hochrechnungsfaktors K liegen zwischen 1.4 und 2.5.

Die aktuellen Sendeleistungen P_i sind den Angaben der Netzbetreiber zu entnehmen, die bewilligten Sendeleistungen $P_{i,bew}$ finden sich im Standortdatenblatt.

Der Beurteilungswert E_B wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$E_B = E_{\max} \cdot K \quad (4)$$

Dabei bedeuten:

- E_B Beurteilungswert, in V/m
- E_{\max} Maximale im Messvolumen gemessene elektrische Feldstärke, in V/m
- K Hochrechnungsfaktor für die Berechnung des Beurteilungswertes

Beispiele für die Berechnung des Beurteilungswertes finden sich in Anhang 2.

6 Frequenzselektive Messung

6.1 Messmethode

Mit einer Messantenne und einem Spektrumanalysator oder einem Messempfänger wird selektiv die elektrische Feldstärke der einzelnen BCCH-Frequenzen gemessen.

Innerhalb des Messvolumens muss für die beteiligten BCCH-Frequenzen das Feldstärke-Maximum gesucht werden, und zwar in Bezug auf:

- Stehwellen im Raum
- Polarisierung der Messantenne
- Ausrichtung der Messantenne

Da für frequenzselektive Messungen keine geeigneten isotropen Antennen existieren, muss mit einer nichtisotropen Antenne in Bezug auf die drei erwähnten Parameter das Maximum gesucht werden.

Das ganze Messvolumen wird mit einer handgeführten Messantenne abgetastet, wobei gleichzeitig die Vorzugsrichtung und die Polarisationsrichtung der Messantenne variiert werden. Bei dieser Absuche des Volumens soll die Antenne immer einen minimalen Abstand von 50 cm zu Wänden, Boden, Decke und Mobiliar einhalten. Während des ganzen Suchvorgangs wird das Spektrum mit der Maximum Hold-Funktion des Messgerätes kontinuierlich erfasst.

Zum Auffinden des örtlichen Maximums sind zwei Vorgehensweisen möglich:

Variante 1:

Der Messwert wird auf dem Messgerät während der Messung laufend beobachtet (z.B. durch gleichzeitige Anzeige des momentan gemessenen Werts und des Maximum Hold-Werts). Der Ort im Raum, die Richtung und die Polarisierung der Antenne werden solange verändert, bis das Feldstärke-Maximum gefunden und registriert ist. Die räumliche Suche wird bei dieser Variante in der Regel für jede beteiligte BCCH-Frequenz separat durchgeführt.

Variante 2:

Der Raum wird systematisch mit unterschiedlichen Polarisierungen und Antennenrichtungen langsam abgetastet, ohne dass das Spektrum während des Ab tastens beobachtet wird. Benachbarte BCCH-Frequenzen können in **einem** Durchgang simultan erfasst werden. Das Messgerät registriert während der Abtastung mit Hilfe der Maximum Hold-Funktion die höchsten vorkommenden Werte.

Erfahrungsgemäss ergeben die beiden Vorgehensweisen bei sorgfältiger Durchführung die gleichen Resultate. Bei beiden Varianten muss die Bewegung der Antenne, bezogen auf die Messgeschwindigkeit des Messgerätes, langsam genug erfolgen.

Für den BCCH jeder Zelle i wird der höchste gemessene Wert $E_{i, max}$ abgelesen und in die Auswerteformel (6) eingesetzt.

6.2 Messeinrichtung

6.2.1 Antennen

Die verwendete Antenne soll genügend kleine Abmessungen (weniger als 40 cm in Querrichtung zur Empfangsrichtung) haben, so dass eine Anwendung in Innenräumen gut möglich ist. Die Antenne muss individuell kalibriert sein.

Folgende Antennentypen sind geeignet:

- Kleine Log Per Antennen (normalerweise mit einem Frequenzbereich ab ca. 500 MHz). Log Per Antennen haben den Vorteil, dass sie aufgrund ihrer Richtwirkung weniger empfindlich auf die Messperson hinter der Antenne reagieren. Allerdings muss gerade wegen ihrer Richtwirkung besonders gut darauf geachtet werden, dass die Antenne überall im Messvolumen in jede Richtung und Polarisation orientiert wird.
- Kleine bikonische Antennen (normalerweise mit einem Frequenzbereich ab ca. 500 MHz)
- Abgestimmte Dipolantennen

Bikonische und abgestimmte Dipolantennen haben in radialer Ebene keine Richtwirkung. Dadurch sind sie empfindlicher auf den Einfluss von Personen in ihrer Nähe. Die Antenne muss deshalb mit einem nichtmetallischen Halter in genügendem Abstand von der messenden Person entfernt gehalten werden.

6.2.2 Spektrumanalysator / Messempfänger

Für die frequenzselektive Messung kann ein Spektrumanalysator oder ein Messempfänger mit Maximum Hold-Funktion verwendet werden. Die Geräte müssen für Effektivwertmessung kalibriert sein, und ihre Messunsicherheit muss bekannt sein.

Moderne Spektrumanalysatoren und Messempfänger verfügen über verschiedene Signaldetektoren, welche bei GSM-Signalen leicht unterschiedliche Ergebnisse liefern. Da der Anlagegrenzwert gemäss Anhang 1 Ziffer 64 NISV für den **Effektivwert** der elektrischen Feldstärke festgelegt ist, gilt als Referenzverfahren die Messung mit einem „true RMS“-Detektor. Die Messbandbreite soll 200 kHz – entsprechend der Bandbreite des BCCH – betragen. Messungen mit einem Peak-Detektor und/oder mit einer anderen Bandbreite sind als gleichwertig zu betrachten, sofern das Gerät mit einem Signal kalibriert ist, das bezüglich Modulation einem BCCH-Träger entspricht. Messgeräte ohne true RMS-Detektor und ohne die GSM-spezifische Kalibration ergeben tendenziell zu hohe Werte. Solche Messsysteme dürfen zwar verwendet werden; es lässt sich damit im Grenzfall jedoch nur die Einhaltung des Anlagegrenzwertes, nicht jedoch dessen Überschreitung nachweisen. Eine numerische Korrektur soll nicht vorgenommen werden.

Hinweis: Der Kanalabstand bei GSM beträgt 200 kHz. Normalerweise ist die Zuteilung der Frequenzen so gewählt, dass die benachbarten Kanäle frei bleiben. Im Einzelfall kann dies durch Beobachtung mit dem frequenzselektiven Messgerät kontrolliert werden. Eine Messung ist daher normalerweise mit einer Bandbreite von 200 kHz oder 300 kHz möglich. Messbandbreiten unter 200 kHz sind zu vermeiden, weil sonst die tatsächliche Feldstärke unterschätzt wird.

6.2.3 Kabel

Das Kabel zwischen der Antenne und dem Messgerät soll individuell kalibriert sein.

Erfahrungsgemäss besteht im praktischen Einsatz ein erhebliches Risiko, dass das Kabel mechanisch überbeansprucht wird und deshalb – unbemerkt – die Kalibrierwerte nicht mehr zutreffen. Es ist daher zu empfehlen, das Kabel vor und nach jedem Messauftrag kurz zu überprüfen. Dazu kann zum Beispiel der Tracking-Generator des Messgerätes verwendet werden.

6.3 Berechnung des Beurteilungswertes

Für jede GSM-Zelle i , die von der Anlage versorgt wird, wird ein Hochrechnungsfaktor K_i nach der folgenden Formel berechnet:

$$K_i = \sqrt{\frac{P_{i,bew}}{P_i}} \quad (5)$$

Dabei bedeuten:

- K_i Hochrechnungsfaktor für Zelle i
- P_i **Aktuelle** Sendeleistung (ERP) des BCCH von Zelle i , in W
- $P_{i,bew}$ **Bewilligte** Sendeleistung (ERP) der Zelle i , in W (BCCH und alle TCH der Zelle i)

Die aktuellen Sendeleistungen P_i sind den Angaben der Netzbetreiber zu entnehmen, die bewilligten Sendeleistungen $P_{i,bew}$ finden sich im Standortdatenblatt.

Als nächstes wird der Messwert jeder GSM-Zelle auf den massgebenden Betriebszustand hochgerechnet:

$$E_{i,h} = E_{i,max} \cdot K_i \quad (6)$$

Dabei bedeuten:

- $E_{i,h}$ Hochgerechneter Messwert für Zelle i , in V/m
- $E_{i,max}$ Maximale im Messvolumen gemessene elektrische Feldstärke des BCCH von Zelle i , in V/m
- K_i Hochrechnungsfaktor für Zelle i

Der Beurteilungswert E_B wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$E_B = \sqrt{\sum_{i=1}^n E_{i,h}^2} \quad (7)$$

Dabei bedeuten:

E_B Beurteilungswert, in V/m

$E_{i,h}$ Hochgerechneter Messwert für Zelle i , in V/m

n Anzahl Zellen, die von der Anlage versorgt werden

Beispiele für die Berechnung des Beurteilungswerts finden sich in Anhang 2.

7 Spezialfälle

In folgenden Situationen besteht das Risiko, dass das Messergebnis verfälscht wird. Diese Situationen erfordern daher besondere Aufmerksamkeit von Seiten des Messlabors. Es soll im Messbericht dokumentiert werden, welche besonderen Vorkehrungen getroffen wurden.

- Wenn der Nachbarkanal eines BCCH als TCH mit Frequenzhüpfen verwendet wird, muss für eine saubere Trennung der Kanäle durch das Messgerät gesorgt werden, andernfalls wird die Feldstärke des BCCH überschätzt. Eine true RMS-Messung mit einer Bandbreite von 200 kHz liefert auch in diesem anspruchsvollen Fall das korrekte Ergebnis.
- Falls der BCCH und die TCH einer Zelle über räumlich getrennte Antennen abgestrahlt werden, kann nicht mehr angenommen werden, dass die TCH am Messort die gleiche Feldstärke wie der BCCH erzeugen. Die Hochrechnung, ausgehend vom Messwert für den BCCH, ist dann unzuverlässig. In einem solchen Fall muss auch der Anteil der TCH individuell gemessen werden.

Anhang 1 Beispiele zur Berechnung der Messunsicherheit

Die Messunsicherheit wird in Anlehnung an den „IEC Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (First edition 1995 ISBN 92-67-10188-9) bestimmt.

In der Metrologie werden die Begriffe **Standardmessunsicherheit** und **erweiterte Messunsicherheit** verwendet.

- Die Standardmessunsicherheit entspricht der Standardabweichung der Verteilung der Messgrösse.
- Die erweiterte Messunsicherheit definiert den Bereich, innerhalb dessen die Messgrösse mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit liegt (normalerweise wird eine Wahrscheinlichkeit von 95% festgelegt.) Bei einer normalverteilten (gaussverteilten) Messgrösse ist die erweiterte Messunsicherheit für einen Vertrauensbereich von 95% 1.96 mal grösser als die Standardmessunsicherheit. In der Metrologie wird dieser Faktor normalerweise auf den Wert 2 aufgerundet.

Zur Berechnung der Unsicherheit des Messresultats werden alle Einflussfaktoren aufgeführt, die das Messresultat beeinflussen können. Für jeden Einflussfaktor wird die zugehörige Unsicherheit abgeschätzt.

Aus der angegebenen Unsicherheit des Einflussfaktors wird mit einem für die angenommene statistische Verteilung spezifischen Divisor die Standardunsicherheit berechnet. Die so normierten Unsicherheitsbeiträge werden dann wie folgt addiert:

$$u = \sqrt{\sum_j u_j^2} = \sqrt{\sum_j \left(\frac{U_j}{k_j}\right)^2} \quad (8)$$

$$U = 2 \cdot u \quad (9)$$

Dabei bedeuten:

k_j	Divisor für den Einflussfaktor j zur Reduktion auf die Standardunsicherheit
u	Standardunsicherheit der Messung, in %
u_j	Standardunsicherheit des Einflussfaktors j , in %
U	Erweiterte Unsicherheit der Messung, in %
U_j	Spezifizierter/geschätzter Unsicherheitsbeitrag des Einflussfaktors j , in %

Der im „IEC Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ vorgesehene Sensitivitätsfaktor wird als 1 angenommen und erscheint deshalb in den nachfolgenden Beispielen nicht.

Für die Wahl des Divisors k_j zur Umrechnung auf die Standardunsicherheit gelten folgende Regeln:

- Unsicherheitsangaben, die aus einem Kalibrierzertifikat stammen, sind normalerweise als 95% Konfidenz-Werte einer Normalverteilung zu verstehen. Der Divisor für die Berechnung der Standardunsicherheit beträgt in diesem Fall
 $k = 2$.
- Unsicherheitsangaben in den Spezifikationen des Datenblattes sind als Maximalwerte einer Rechteckverteilung zu betrachten. Der Divisor für die Berechnung der Standardunsicherheit beträgt
 $k = \sqrt{3}$.
- Für die Unsicherheit infolge von Fehlanpassungen muss eine U-förmige Verteilung angenommen werden. Der Divisor für die Berechnung der Standardunsicherheit beträgt
 $k = \sqrt{2}$.

Wenn ein Einflussfaktor bei den gegebenen Messbedingungen quantitativ bekannt ist, dann kann der Messwert mit diesem bekannten Faktor korrigiert werden. Die Unsicherheit bezüglich dieser Einflussgrösse verschwindet dann zwar nicht völlig, reduziert sich jedoch auf die Unsicherheit der Korrektur.

- Generell wird man den Messwert mit dem bei der Absolutkalibration ermittelten Kalibrierfaktor korrigieren.
- Liegt eine Kalibration bei den zu messenden GSM-Frequenzen vor, dann erübrigt sich die Berücksichtigung des Frequenzgangs. Allenfalls ist noch ein kleiner Unsicherheitsbeitrag mitzuführen, wenn zwischen zwei Kalibrierfrequenzen interpoliert werden muss. Diese Korrektur ist allerdings nur bei einer frequenzselektiven Messeinrichtung sinnvoll. Bei breitbandigen Messgeräten sind die Frequenzen der zu messenden Signale a priori nicht bekannt und daher auch eine Korrektur des Frequenzgangs nicht möglich.
- Falls eine Kalibration bei verschiedenen Pegeln vorliegt, lassen sich Abweichungen von der Linearität numerisch korrigieren. Auch hier verbleibt als Unsicherheit nur noch die Unsicherheit des jeweiligen Korrekturwertes.

Zusätzlich zur Unsicherheit der Messeinrichtung ist ein fixer Beitrag von $\pm 15\%$ (Standardunsicherheit) für die Unsicherheit der Probenahme einzusetzen.

Nachstehend sind zwei Beispiele für die Berechnung der erweiterten Messunsicherheit ausgeführt:

Beispiel 1.1: Breitbandsonde mit individueller Kalibration

Beispiel 1.2: Frequenzselektive Messeinrichtung mit separater Kalibration von Antenne und Kabel

Beispiel 1.1: Breitbandsonde mit individueller Kalibration

Die Sonde im vorliegenden Beispiel hat folgende allgemeine Spezifikationen:

Spezifizierter Frequenzbereich:	100 kHz – 3 GHz
Spezifizierter Messbereich:	0.6 V/m – 800 V/m
Spezifizierter Temperaturbereich:	0 – 50 Grad C

Die Breitbandsonde wurde durch ein Kalibrierlabor kalibriert. Die Kalibrierung umfasste drei Messungen, welche im Kalibrierbericht dokumentiert sind:

- Eine Absolutkalibration bei einer Feldstärke von 27.5 V/m und einer Frequenz von 27.12 MHz, mit einer Unsicherheit von ± 1.9 V/m, entsprechend ± 6.9 %. Der resultierende Kalibrierfaktor wird im Messgerät gespeichert, und jeder Messwert wird automatisch mit diesem Kalibrierfaktor korrigiert. Auf diesen Kalibrierpunkt beziehen sich die Angaben über die Abweichung von der Linearität und über den Frequenzgang.
- Eine Messung der Abweichung von der Linearität, gemessen bei der fixen Frequenz von 27.12 MHz. Es handelt sich um eine Relativmessung bei verschiedenen Pegeln, bezogen auf den Referenzpegel von 27.5 V/m. Die vorliegende Sonde wurde bei 0.8 V/m, 2 V/m und 10 V/m (etc.) kalibriert, pro Pegel mit spezifizierter Unsicherheit.
- Eine Messung des Frequenzgangs bei einem Pegel von 27.5 V/m. Es handelt sich um eine Relativmessung bei verschiedenen Frequenzen, bezogen auf die Referenzfrequenz von 27.12 MHz. Die vorliegende Sonde wurde bei den Frequenzpunkten 800 MHz, 900 MHz, 1 GHz, 1.2 GHz, 1.4 GHz, 1.6 GHz, 1.8 GHz, 2 GHz etc. kalibriert, mit einer Unsicherheit von ± 3.6 V/m bis 1 GHz und ± 3.8 V/m zwischen 1.2 GHz und 2 GHz.

Die nachfolgende Berechnung der Messunsicherheit gilt für einen erwarteten Messwert von 1 V/m und für Frequenzen in den Bereichen von 800 – 1000 MHz und 1700 MHz – 1900 MHz.

Die Messunsicherheit setzt sich aus folgenden Beiträgen zusammen:

- **Unsicherheit der Absolutkalibration**

Jeder gemessene Wert wird automatisch mit dem Kalibrierfaktor gemäss Kalibrierzertifikat korrigiert. Der Kalibrierfaktor selbst ist mit einer Unsicherheit von ± 6.9 % behaftet. Da diese Angabe vom Kalibrierlabor stammt, wird eine Normalverteilung angenommen.

- **Linearitätsabweichung**

Die im Kalibrierbericht ausgewiesene Linearitätsabweichung liegt für den erwarteten Feldstärkebereich (1 V/m bis 20 V/m) zwischen -3 % und +2 %. In der Regel werden gemessene Werte nicht korrigiert. Die ausgewiesenen Abweichungen von der Linearität definieren ein Toleranzband, welches als Unsicherheitsbeitrag behandelt wird. Dieses Toleranzband wird im vorliegenden Fall mit ± 3 % als Rechteckverteilung in die Tabelle A1.1 eingesetzt.

Dazu kommt noch die Unsicherheit, mit der die Linearitätsabweichung bei der Kalibration bestimmt wurde. Sie ist im Kalibrierbericht für jeden Pegel angegeben und schwankt zwischen $\pm 2\%$ und $\pm 2.5\%$. Als Beitrag zur Messunsicherheit wird ein Wert von $\pm 2.5\%$ mit Normalverteilung in die Tabelle A1.1 eingesetzt.

- **Frequenzgang**

Der Frequenzgang ist aus dem Kalibrierbericht bekannt. Die Abweichung liegt im Frequenzbereich von 800 MHz bis 1900 MHz zwischen $+7\%$ und -15% . Gemessene Werte werden in der Regel nicht korrigiert. Die ausgewiesenen Abweichungen definieren ein Toleranzband, welches als Unsicherheitsbeitrag behandelt wird. Als Toleranzband wird $\pm 15\%$ mit Rechteckverteilung eingesetzt.

Dazu kommt noch die Unsicherheit, mit welcher der Frequenzgang bei der Kalibration bestimmt wurde. Sie ist im Kalibrierbericht für die massgebenden Frequenzpunkte mit $\pm 12\%$ bis $\pm 14\%$ angegeben. Als Beitrag zur Messunsicherheit wird ein Wert von $\pm 14\%$ mit Normalverteilung in die Tabelle A1.1 eingesetzt.

- **Isotropieabweichung**

Die Isotropieabweichung ist im Datenblatt mit ± 1 dB, entsprechend $\pm 12\%$, spezifiziert. Es wird eine Rechteckverteilung angenommen.

- **Modulationsabhängigkeit**

Die Modulationsabhängigkeit kann im Datenblatt aus einer Kurve für GSM-Signale abgeschätzt werden. Die Abweichung für Pegel bis 10 V/m ist kleiner als $\pm 5\%$, wobei eine Rechteckverteilung angenommen wird.

- **Temperaturabhängigkeit**

Die Temperaturabhängigkeit ist im Datenblatt für den Temperaturbereich von 0°C bis 50°C mit $+0.2/-1.5$ dB angegeben. Es ist mit einem Einsatz der Sonde bei Temperaturen von $+5^\circ\text{C}$ bis 30°C zu rechnen. Aus der Kurve für den typischen Temperaturgang kann für diesen eingeschränkten Temperaturbereich eine Unsicherheit von ± 0.3 dB ($\pm 3.5\%$) abgeschätzt werden (Rechteckverteilung).

Einflussfaktor	Datenherkunft	Unsicherheitsbeitrag %	Verteilung	Divisor k_j	Standardunsicherheit %
Unsicherheit der Absolutkalibration	Kalibrierbericht	± 7	Normal	2	± 3.5
Toleranzband der Linearitätsabweichung	Kalibrierbericht	± 3	Rechteck	1.73	± 1.7
Unsicherheit der Linearitätsmessung	Kalibrierbericht	± 2.5	Normal	2	± 1.3
Toleranzband des Frequenzgangs	Kalibrierbericht	± 15	Rechteck	1.73	± 8.7
Unsicherheit der Frequenzgangmessung	Kalibrierbericht	± 14	Normal	2	± 7
Isotropieabweichung	Datenblatt	± 12	Rechteck	1.73	± 6.9
Modulationsabhängigkeit	Datenblatt	± 5	Rechteck	1.73	± 2.9
Temperaturabhängigkeit	Datenblatt	± 3.5	Rechteck	1.73	± 2
Standardunsicherheit der Messeinrichtung u_m					± 14.2
Standardunsicherheit der Probennahme u_p	Vorgabe				± 15
Standardunsicherheit des Messresultates u					± 20.7

Tabelle A1.1: Berechnung der Standard-Messunsicherheit für eine Breitbandsonde mit individueller Kalibration (Beispiel).

Ergebnis

Die Standardmessunsicherheit u beträgt ± 20.7 %.

Die erweiterte Messunsicherheit U beträgt ± 41.4 %.

Die Anforderung an die erweiterte Messunsicherheit ($U < ± 45 %$) ist erfüllt.

Beispiel 1.2: Frequenzselektive Messeinrichtung mit separater Kalibration von Antenne und Kabel

Für das vorliegende Beispiel wird eine frequenzselektive Messeinrichtung moderner Technologie vorausgesetzt. Die Antenne und das Kabel seien von einem Kalibrierlabor kalibriert worden. Die Messwerte werden mit dem Antennenfaktor und um den Kabelverlust korrigiert.

Messgerät

Angaben über die Messunsicherheit des Messgerätes liegen in unterschiedlicher Form vor. Für das Messgerät im vorliegenden Beispiel (Spektrumanalysator) sind vom Hersteller folgende fünf Unsicherheitsbeiträge für Pegelmessungen spezifiziert:

<i>Absolutfehler</i> (Rechteckverteilung):	$\pm 0.2 \text{ dB} \Rightarrow \pm 2.3 \%$
<i>Frequenzgang</i> (Rechteckverteilung):	$\pm 0.8 \text{ dB} \Rightarrow \pm 9.6 \%$
<i>Linearitätsfehler des Eingangssattenuators</i> (Rechteckverteilung):	$\pm 0.2 \text{ dB} \Rightarrow \pm 2.3 \%$
<i>Linearitätsfehler des ZF-Verstärkers</i> (Rechteckverteilung):	$\pm 0.2 \text{ dB} \Rightarrow \pm 2.3 \%$
<i>Linearitätsfehler der Anzeige</i> (Rechteckverteilung):	$\pm 0.2 \text{ dB} \Rightarrow \pm 2.3 \%$

Der Temperatureinfluss ist in diesem Beispiel in den obenstehenden Unsicherheitsangaben enthalten und wird deshalb nicht separat ausgewiesen.

Unsicherheit wegen der *Modulationsabhängigkeit* des Messgerätes: $\pm 10 \%$
Diese Unsicherheit ist geschätzt (Rechteckverteilung).

Antenne

Gemessene Werte werden mit dem Antennenfaktor korrigiert. Diese Korrektur ist mit folgenden Unsicherheiten behaftet:

Unsicherheit der <i>Antennenkalibration</i> nach Kalibrierzertifikat: (Normalverteilung)	$\pm 1.5 \text{ dB} \Rightarrow \pm 18.9 \%$
<i>Interpolation</i> (Rechteckverteilung):	$\pm 0.3 \text{ dB} \Rightarrow \pm 3.5 \%$

Die Antenne ist in der Regel nur bei einigen ausgewählten Frequenzen kalibriert. Für Frequenzen, die zwischen diesen Werten liegen, muss interpoliert werden, was mit einer Unsicherheit verbunden ist.

Kabel

Gemessene Werte werden um den Kabelverlust korrigiert. Diese Korrektur ist mit folgenden Unsicherheiten behaftet:

Unsicherheit der <i>Kabelkalibration</i> nach Kalibrierzertifikat: (Normalverteilung)	$\pm 0.2 \text{ dB} \Rightarrow \pm 2.3 \%$
<i>Interpolation</i> (Rechteckverteilung):	$\pm 0.1 \text{ dB} \Rightarrow \pm 1.2 \%$

Das Kabel ist in der Regel nur bei einigen ausgewählten Frequenzen kalibriert. Für Frequenzen, die zwischen diesen Werten liegen, muss interpoliert werden, was mit einer Unsicherheit verbunden ist.

Fehlanpassungen

Zwischen der Antenne, dem Kabel und dem Messgerät kommt es zu Fehlanpassungen. Die damit verbundenen Unsicherheitsbeiträge U_F können für jede Stosstelle aufgrund von Reflexionsmessungen nach der folgenden Formel berechnet werden:

$$U_F = 2 \cdot |r_{Last}| \cdot |r_{Quelle}| \quad (10)$$

Dabei bedeuten:

$|r_{Last}|$ Reflexionsfaktor Last (gemessen)

$|r_{Quelle}|$ Reflexionsfaktor Quelle (gemessen)

U_F Unsicherheit infolge von Fehlanpassung

Für die Unsicherheit infolge von Fehlanpassungen wird eine U-förmige Verteilung angenommen.

Die Angaben für die Fehlanpassung (VSWR), die Rückflusdämpfung und den Reflexionsfaktor sind gleichwertig und können ineinander umgerechnet werden.

$$\text{Reflexionsfaktor } r = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (11)$$

$$\text{Rückflusdämpfung (in dB)} = \frac{1}{r} \quad (12)$$

Die Angaben für die Fehlanpassung (VSWR) des Kabels können aus dem Kalibrierbericht des Kabels, die Angaben für die Fehlanpassung (VSWR) der Antenne aus dem Kalibrierbericht der Antenne entnommen werden. Die Angaben für die Fehlanpassung (VSWR) des Messgerätes stammen im vorliegenden Beispiel aus dem Datenblatt.

Fehlanpassung Kabel / Messgerät

	Frequenz	VSWR	Rückflusdämpfung	Reflexionsfaktor r
Kabel (Quelle)	1800 MHz	1.2	20.8 dB	0.091
Messgerät (Last)	1800 MHz	1.5	14.0 dB	0.200

Damit wird:

$$U_F = 2 \cdot |r_{Last}| \cdot |r_{Quelle}| = 2 \cdot 0.200 \cdot 0.091 = 0.036, \text{ entsprechend } \pm \mathbf{3.6\%}$$

Fehlanpassung Antenne / Kabel

	Frequenz	VSWR	Rückflussdämpfung	Reflexionsfaktor r
Antenne (Quelle)	1800 MHz	1.6	12.7 dB	0.231
Kabel (Last)	1800 MHz	1.2	20.8 dB	0.091

Damit wird:

$$U_F = 2 \cdot |r_{Last}| \cdot |r_{Quelle}| = 2 \cdot 0.091 \cdot 0.231 = 0.042, \text{ entsprechend } \pm 4.2\%$$

Fehlanpassung Antenne / Messgerät

Wenn das Kabel eine relativ kleine Dämpfung aufweist, muss auch die Fehlanpassung zwischen der Antenne und dem Eingang des Messgeräts berücksichtigt werden. Für eine vereinfachte Abschätzung wird die Rückflussdämpfung der Antenne um die doppelte Kabeldämpfung erhöht. Damit trägt man dem Umstand Rechnung, dass die reflektierte Welle das Kabel zweimal durchläuft.

Der Kabelverlust beträgt laut Kalibrierbericht 4dB.

	Frequenz	VSWR	Rückflussdämpfung*	Reflexionsfaktor r^*
Antenne* (Quelle)	1800 MHz	1.6	12.7 dB + 8 dB =20.7 dB	0.092
Messgerät (Last)	1800 MHz	1.5	14 dB	0.200

* Rückflussdämpfung und Reflexionsfaktor der Antenne, wie sie am Eingang des Messgerätes erscheinen.

Damit wird:

$$U_F = 2 \cdot |r_{Last}| \cdot |r_{Quelle}| = 2 \cdot 0.200 \cdot 0.092 = 0.037, \text{ entsprechend } \pm 3.7\%$$

Dieser Unsicherheitsbeitrag kann reduziert werden, indem ein Kabel mit grösserer Dämpfung gewählt wird, oder indem zwischen die Antenne und das Kabel ein Dämpfungsglied eingefügt wird.

Einflussfaktor	Datenherkunft	Unsicherheitsbeitrag %	Verteilung	Divisor k_j	Standard- unsicherheit %
Messgerät					
Absolutfehler	Datenblatt	± 2.3	Rechteck	1.73	± 1.3
Frequenzgang	Datenblatt	± 9.6	Rechteck	1.73	± 5.6
Linearität des Eingangssattenuators	Datenblatt	± 2.3	Rechteck	1.73	± 1.3
Linearität des ZF-Verstärkers	Datenblatt	± 2.3	Rechteck	1.73	± 1.3
Linearität der Anzeige	Datenblatt	± 2.3	Rechteck	1.73	± 1.3
Modulationsabhängigkeit	Geschätzt	± 10	Rechteck	1.73	± 5.8
Antenne					
Antennenkalibration	Kalibrierbericht	± 18.9	Normal	2	± 9.5
Interpolation	Geschätzt	± 3.5	Rechteck	1.73	± 2.0
Kabel					
Kabelkalibration	Kalibrierbericht	± 2.3	Normal	2	± 1.2
Interpolation	Geschätzt	± 1.2	Rechteck	1.73	± 0.7
Fehlanpassungen					
Antenne / Kabel	Kalibrierbericht	± 3.6	U-förmig	1.41	± 2.6
Kabel / Messgerät	Kalibrierbericht/ Datenblatt	± 4.2	U-förmig	1.41	± 3.0
Antenne / Messgerät	Kalibrierbericht/ Datenblatt	± 3.7	U-förmig	1.41	± 2.6
Standardunsicherheit der Messeinrichtung u_m					± 13.7
Standardunsicherheit der Probennahme u_p	Vorgabe				± 15
Standardunsicherheit des Messresultates u					± 20.3

Tabelle A1.2: Berechnung der Standard-Messunsicherheit für eine frequenzselektive Messeinrichtung mit individueller Kalibration der Antenne und des Kabels (Beispiel).

Ergebnis

Die Standardmessunsicherheit u beträgt $\pm 20.3 \%$.

Die erweiterte Messunsicherheit U beträgt $\pm 40.7\%$.

Die Anforderung an die erweiterte Messunsicherheit ($U < \pm 45\%$) ist erfüllt.

Anhang 2 Beispiele zur Berechnung des Beurteilungswertes

Die Berechnung des Beurteilungswertes E_B wird anhand von zwei typischen Anlagen, je für die Breitbandmessung (Kapitel 5) und für die frequenzselektive Messung (Kapitel 6), illustriert.

Es muss ein Standortdatenblatt vorliegen, aus dem für jede Zelle i die bewilligte Sendeleistung (ERP) $P_{i,bew}$ ersichtlich ist. Die bewilligte Sendeleistung gilt jeweils für die Summe der Sendeleistungen des BCCH und aller TCH der betreffenden Zelle.

Die Netzbetreiber müssen unter anderem die folgenden technischen Daten, die für den Zeitpunkt der Messung gültig sind, zur Verfügung stellen:

- Aktuelle Sendeleistung (ERP) P_i auf der BCCH-Frequenz jeder Zelle i .
- Aktuelle Zuteilung der BCCH- und TCH-Frequenzen.

Der Hochrechnungsfaktor K_i für die Zelle i wird wie folgt berechnet:

$$K_i = \sqrt{\frac{P_{i,bew}}{P_i}} \quad (13)$$

Beispiel 2.1

Beschreibung der Anlage 1

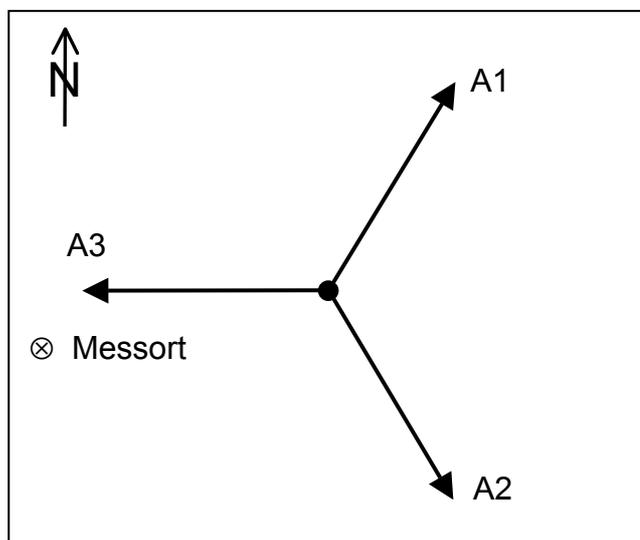
Ein Netzbetreiber versorgt mit drei Antennen, die an einem Mast installiert sind, drei Zellen im 900 MHz-Band. Der Winkel zwischen den Hauptstrahlrichtungen der drei Antennen beträgt je 120° . Die Senderichtungen und der Messort sind in Figur A2.1 skizziert.

Die technischen Daten der Anlage und die daraus bestimmten Hochrechnungsfaktoren finden sich in Tabelle A2.1.

Bei der beschriebenen Anlage handelt es sich um eine reine GSM900-Anlage. Es gilt daher ein Anlagegrenzwert von 4 V/m.

Zelle i	Antenne	Hauptstrahlrichtung	Frequenz des BCCH	aktuelle Sendeleistung (ERP) P_i des BCCH	Bewilligte Sendeleistung (ERP) $P_{i,bew}$	Hochrechnungsfaktor K_i
1	A1	30°	947.6 MHz	155 W	310 W	1.41
2	A2	150°	948.0 MHz	155 W	310 W	1.41
3	A3	270°	951.4 MHz	155 W	310 W	1.41

Tabelle A2.1: Technische Daten der Anlage 1 (Angaben des Netzbetreibers schattiert) und die daraus bestimmten Hochrechnungsfaktoren K_i .



Figur A2.1: Plan der Anlage 1 mit den drei Hauptstrahlrichtungen und der Lage des Messortes.

Breitbandmessung bei der Anlage 1

Mit einer Breitbandsonde wird die elektrische Feldstärke am Messort bei der Anlage 1 gemessen.

Der (örtlich) höchste Messwert E_{\max} beträgt 2.05 V/m. Als Hochrechnungsfaktor K ist der grösste Hochrechnungsfaktor K_i aus Tabelle A2.1 einzusetzen. Im vorliegenden Fall sind alle K_i gleich hoch mit einem Wert von 1.41, der Hochrechnungsfaktor K beträgt somit ebenfalls 1.41.

Daraus berechnet sich der Beurteilungswert wie folgt:

$$E_B = E_{\max} \cdot K = 2.05 \text{ V/m} \cdot 1.41 = 2.89 \text{ V/m.}$$

Der Beurteilungswert liegt unter dem Anlagegrenzwert. Der Anlagegrenzwert ist eingehalten.

Frequenzselektive Messung bei der Anlage 1

Mit einer frequenzselektiven Messeinrichtung wird die elektrische Feldstärke am Messort bei der Anlage 1 gemessen. Für jeden BCCH wird die (örtlich) höchste elektrische Feldstärke $E_{i,\max}$ separat erfasst und mit dem jeweiligen Hochrechnungsfaktor gemäss Tabelle A2.1 hochgerechnet. Die Messwerte $E_{i,\max}$, die Hochrechnungsfaktoren K_i und die hochgerechneten Messwerte $E_{i,h}$ finden sich in Tabelle A2.2.

Zelle i	Antenne	Messwert $E_{i,\max}$ des BCCH	Hochrechnungsfaktor K_i	Hochgerechneter Messwert $E_{i,h}$
1	A1	0.41 V/m	1.41	0.58 V/m
2	A2	0.38 V/m	1.41	0.54 V/m
3	A3	1.82 V/m	1.41	2.57 V/m

Tabelle A2.2: Messwerte, Hochrechnungsfaktoren und hochgerechnete Messwerte.

Daraus berechnet sich der Beurteilungswert E_B wie folgt:

$$E_B = \sqrt{\sum_{i=1}^3 E_{i,h}^2} = \sqrt{0.58^2 + 0.54^2 + 2.57^2} \text{ V/m} = 2.69 \text{ V/m.}$$

Der Beurteilungswert liegt unter dem Anlagegrenzwert. Der Anlagegrenzwert ist eingehalten.

Wie erwartet ist der Beurteilungswert aus der frequenzselektiven Messung niedriger als derjenige aus der Breitbandmessung, weil bei der Breitbandmessung auch die Strahlung der TCH und von Fremdsignalen mitgemessen wird.

Beispiel 2.2

Beschreibung der Anlage 2

Zwei Netzbetreiber teilen sich einen Standort und haben ihre Antennen an demselben Mast montiert. Der erste Netzbetreiber betreibt drei Antennen für GSM900 und deren drei für GSM1800 (Antennen A1 – A6); der zweite Netzbetreiber drei Antennen für GSM1800 (Antennen A7 – A9).

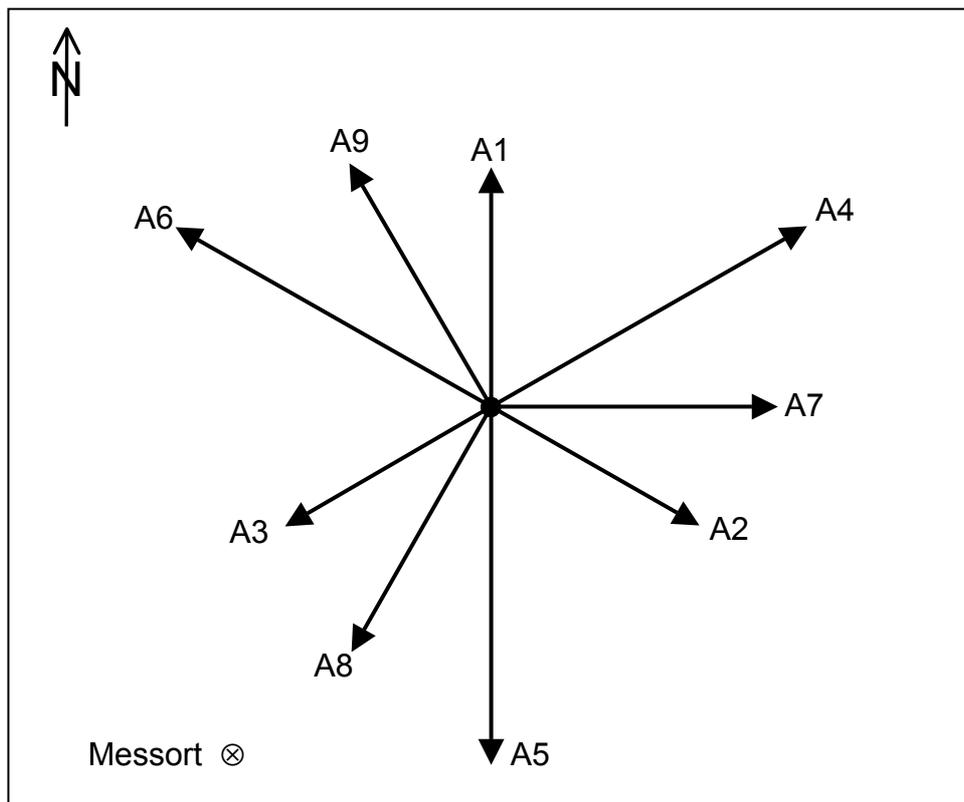
Die Senderichtungen und der Messort sind in Figur A2.2 skizziert.

Die technischen Daten der Anlage und die daraus bestimmten Hochrechnungsfaktoren finden sich in Tabelle A2.3.

Die Anlage sendet sowohl im 900 MHz- als auch im 1800 MHz-Band. Der Anlagegrenzwert beträgt demnach 5 V/m.

Zelle i	Antenne	Hauptstrahlrichtung	Frequenz des BCCH	aktuelle Sendeleistung (ERP) P_i des BCCH	bewilligte Sendeleistung (ERP) $P_{i,bew}$	Hochrechnungsfaktor K_i
1	A1	0°	938.4 MHz	85 W	600 W	2.66
2	A2	120°	937.4 MHz	73 W	600 W	2.87
3	A3	240°	948.0 MHz	73 W	600 W	2.87
4	A4	60°	1837.4 MHz	175 W	900 W	2.27
5	A5	180°	1848.4 MHz	175 W	900 W	2.27
6	A6	300°	1850.2 MHz	160 W	900 W	2.37
7	A7	90°	1820.8 MHz	273 W	710 W	1.61
8	A8	210°	1824.0 MHz	273 W	710 W	1.61
9	A9	330°	1815.0 MHz	273 W	710 W	1.61

Tabelle A2.3: Technische Daten der Anlage 2 (Angaben der Netzbetreiber schattiert) und die daraus bestimmten Hochrechnungsfaktoren K_i .



Figur A2.2: Plan der Anlage 2 mit den Hauptstrahlrichtungen der neun Antennen und dem Messort. Die Längen der Pfeile sind proportional zur bewilligten Sendeleistung (ERP) $P_{i,bew}$.

Breitbandmessung bei der Anlage 2

Mit einer Breitbandsonde wird die elektrische Feldstärke am Messort bei der Anlage 2 gemessen.

Der (örtlich) höchste Messwert E_{\max} beträgt 2.13 V/m. Als Hochrechnungsfaktor K ist der höchste Hochrechnungsfaktor K_i aus Tabelle A2.3, also ein Wert von 2.87, einzusetzen.

Daraus berechnet sich der Beurteilungswert wie folgt:

$$E_B = 2.13 \text{ V/m} \cdot 2.87 = 6.11 \text{ V/m.}$$

Der Beurteilungswert liegt über dem Anlagegrenzwert. Es kann jedoch nicht abschließend beurteilt werden, ob der Anlagegrenzwert überschritten ist. Es muss eine frequenzselektive Messung durchgeführt werden.

Frequenzselektive Messung bei der Anlage 2

Mit einer frequenzselektiven Messeinrichtung wird die elektrische Feldstärke am Messort bei der Anlage 2 gemessen. Für jeden BCCH wird die (örtlich) höchste elektrische Feldstärke $E_{i,\max}$ separat erfasst und mit dem jeweiligen Hochrechnungsfaktor gemäss Tabelle (A2.3) hochgerechnet. Die Messwerte $E_{i,\max}$, die Hochrechnungsfaktoren K_i und die hochgerechneten Messwerte $E_{i,h}$ finden sich in Tabelle A2.4.

Zelle i	Antenne	Messwert $E_{i,\max}$ des BCCH	Hochrechnungsfaktor K_i	Hochgerechneter Messwert $E_{i,h}$
1	A1	0.10 V/m	2.66	0.27 V/m
2	A2	0.12 V/m	2.87	0.34 V/m
3	A3	0.63 V/m	2.87	1.81 V/m
4	A4	0.08 V/m	2.27	0.18 V/m
5	A5	0.69 V/m	2.27	1.57 V/m
6	A6	0.18 V/m	2.37	0.43 V/m
7	A7	0.09 V/m	1.61	0.14 V/m
8	A8	1.72 V/m	1.61	2.77 V/m
9	A9	0.11 V/m	1.61	0.18 V/m

Tabelle A2.4: Messwerte, Hochrechnungsfaktoren und hochgerechnete Messwerte.

Daraus berechnet sich der Beurteilungswert E_B wie folgt:

$$E_B = \sqrt{\sum_{i=1}^9 E_{i,h}^2} = \sqrt{0.27^2 + 0.34^2 + 1.81^2 + 0.18^2 + 1.57^2 + 0.43^2 + 0.14^2 + 2.77^2 + 0.18^2} \text{ V/m} = 3.72 \text{ V/m.}$$

Der Beurteilungswert liegt unter dem Anlagegrenzwert. Das Ergebnis der frequenzselektiven Messung hat Vorrang gegenüber dem der Breitbandmessung. Der Anlagegrenzwert ist eingehalten.

Wie erwartet ist der Beurteilungswert aus der frequenzselektiven Messung niedriger als derjenige aus der Breitbandmessung, weil bei der Breitbandmessung auch Strahlung der TCH und von Fremdsignalen mitgemessen wird.

Anhang 3 Verzeichnis der Abkürzungen

BCCH	Broadcast Control Channel (Steuerkanal)	
GSM	Global System for Mobile Communication	
NIS	Nichtionisierende Strahlung	
NISV	Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung	
OMEN	Ort mit empfindlicher Nutzung	
WLL	Wireless Local Loop (drahtloser Teilnehmeranschluss)	
TCH	Traffic Channel (Gesprächskanal)	
TDMA	Time Domain Multiple Access	
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio (Stehwellenverhältnis)	
E_B	Beurteilungswert	V/m
$E_{i, h}$	Hochgerechneter Messwert für Zelle i (bei frequenzselektiver Messung)	V/m
$E_{i, max}$	Örtlich höchster Messwert der elektrischen Feldstärke des BCCH von Zelle i (bei frequenzselektiver Messung)	V/m
E_{max}	Örtlich höchster Messwert der elektrischen Feldstärke (bei breitbandiger Messung)	V/m
K	Hochrechnungsfaktor für die Berechnung des Beurteilungswertes (bei breitbandiger Messung)	–
K_i	Hochrechnungsfaktor für Zelle i	–
k_j	Divisor für die Messunsicherheit für den Einflussfaktor j	–
n	Anzahl Zellen, die von der Anlage versorgt werden	–
P_i	Aktuelle Sendeleistung (ERP) des BCCH von Zelle i	W
$P_{i, bew}$	Bewilligte Sendeleistung (ERP) der Zelle i (Summe von BCCH und TCH)	W
r	Reflexionsfaktor	–
u	Standardunsicherheit des Messresultates	%
U	Erweiterte Unsicherheit des Messresultates mit 95% Vertrauenswahrscheinlichkeit	%
U_F	Erweiterte Unsicherheit infolge von Fehlanpassung	%
u_m	Standardunsicherheit der Messeinrichtung	%
U_m	Erweiterte Unsicherheit der Messeinrichtung	%
u_p	Standardunsicherheit der Probenahme	%
U_p	Erweiterte Unsicherheit der Probenahme	%



Vollzug Umwelt



Nichtionisierende Strahlung

Mobilfunk-
Basisstationen (GSM)

Messempfehlung

NACHTRAG



m | e | t | a | s

metrologie und akkreditierung schweiz



Bundesamt für
Umwelt, Wald und
Landschaft
BUVAL

Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BUWAL als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis ermöglichen. Das BUWAL veröffentlicht solche Vollzugshilfen (oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Vollzug Umwelt». Die Vollzugshilfen gewährleisten einerseits ein grosses Mass an Rechtsgleichheit und Rechtssicherheit; andererseits ermöglichen sie im Einzelfall flexible und angepasste Lösungen. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfen, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen. Andere Lösungen sind nicht ausgeschlossen, gemäss Gerichtspraxis muss jedoch nachgewiesen werden, dass sie rechtskonform sind.

Herausgeber

Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung METAS
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)
Das BUWAL ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Redaktion

Sektion Nichtionisierende Strahlung, BUWAL
Sektion Hochfrequenz, EMV und Verkehr, METAS

Fotos Titelblatt

© Emanuel Ammon / AURA und BUWAL

Sprachen

Die vorliegende Publikation liegt auch in französischer Sprache vor.

Bezug PDF

Die vorliegende Publikation kann als pdf-Datei aus dem Internet heruntergeladen werden:
<http://www.elektrosmog-schweiz.ch/vollzug/mobilfunk>
<http://www.buwalshop.ch>

NACHTRAG

zur Messempfehlung für Mobilfunkbasisstationen (GSM)

1. Zweck dieses Nachtrags

Mitte 2002 haben das BUWAL und das METAS die Messempfehlung für GSM-Basisstationen¹, im folgenden als „GSM-Messempfehlung“ bezeichnet, veröffentlicht. Bei der praktischen Anwendung dieser Empfehlung sind einige Fragen aufgetaucht, welche die beiden Bundesämter mit der vorliegenden Mitteilung zu Händen der Vollzugsbehörden, Mobilfunkbetreiber und Messlabors klären möchten. Den Schwerpunkt dieser Mitteilung bildet die messtechnische Beurteilung von kombinierten GSM/UMTS-Basisstationen, wenn UMTS noch nicht in Betrieb ist (Abschnitt 2). Dieser Teil der Mitteilung gilt als Übergangslösung bis die UMTS-Anlagen in Betrieb gehen und mit UMTS-spezifischen Messverfahren beurteilt werden können.

2. Abnahmemessungen von GSM/UMTS-Sendeanlagen, wenn UMTS noch nicht in Betrieb ist

Im Zuge des Aufbaus der UMTS-Netze wurden bereits Hunderte von UMTS-Sendeanlagen bewilligt. Häufig handelt es sich dabei um die Nachrüstung bestehender GSM-Anlagen. Solche kombinierten GSM/UMTS-Anlagen werden jedoch derzeit und bis zum effektiven Start der UMTS-Netze nur mit GSM betrieben, sie laufen somit nicht in ihrem bewilligten Endausbau. Eine Abnahmemessung solcher Anlagen ist daher streng genommen noch nicht möglich. Es besteht jedoch ein Bedürfnis, Abnahmemessungen zu einem möglichst frühen Zeitpunkt durchführen zu können. Im folgenden wird ein Verfahren empfohlen, das aufgrund einer Messung der GSM1800-Strahlung² eine Extrapolation der künftigen UMTS-Strahlung und damit eine abschliessende Beurteilung einer kombinierten GSM/UMTS-Anlage erlaubt. Das Verfahren ist nur anwendbar, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- GSM1800 und UMTS müssen über die gleiche Antenne und in die gleiche Richtung abgestrahlt werden.
- Die Richtungsabschwächung in Richtung des Messortes darf für UMTS nicht kleiner sein als diejenige für GSM1800.

Sind diese Voraussetzungen nicht gegeben, dann muss für eine abschliessende Abnahmemessung entweder abgewartet werden, bis UMTS in Betrieb ist, oder es kann gemäss dem von der SICTA vorgeschlagenen Übergangsmessverfahren³ vorgegangen werden.

Es wird gemäss der GSM-Messempfehlung an den interessierenden Messorten die GSM-Strahlung entweder breitbandig oder frequenzselektiv gemessen. Falls für die Senderichtungen ein Winkelbereich bewilligt wurde, ist sicherzustellen, dass die Antennen während der Messung in die kritischen Senderichtungen justiert werden (siehe Abschnitt 4). Die einzige Modifikation gegenüber der GSM-Messempfehlung betrifft die Hochrechnung des Messer-

¹ Mobilfunkbasisstationen (GSM); Messempfehlung. Vollzug Umwelt, BUWAL und METAS 2002

² Die Extrapolation ausgehend von GSM1800 sollte die Regel sein. Falls über eine Tribandantenne nur GSM900 aber kein GSM1800 abgestrahlt wird, dann darf abweichend von der Regel GSM900 gemessen und auf UMTS extrapoliert werden. Die Randbedingungen sind dabei dieselben wie für GSM1800.

³ Bei diesem Verfahren wird über die UMTS-Antenne ein schmalbandiges Testsignal im UMTS-Frequenzband abgestrahlt und gemessen (siehe: http://www.sicta.ch/deutsch/pdf/Broschure_ohne_Berichte.pdf; Abschnitt 5.6.7, S. 45)

gebnisses für den massgebenden Betriebszustand. Das nachstehend beschriebene Hochrechnungsverfahren gilt als Ergänzung zur GSM-Messempfehlung. Für Messfirmen, welche für Messungen gemäss der GSM-Messempfehlung akkreditiert sind, gilt diese Akkreditierung automatisch auch für die nachfolgend beschriebene Methode der Hochrechnung.

Zur Illustration dient im folgenden eine Anlage mit drei GSM900- und drei Dualband GSM1800/UMTS-Antennen mit folgenden technischen Daten:

Zelle <i>i</i>	Antenne	Hauptstrahl- richtung	Funkdienst	aktuelle Sende- leistung (ERP) <i>P_i</i> des BCCH	bewilligte Sende- leistung (ERP) <i>P_{i,bew}</i>
1	A1	0°	GSM900	85 W	600 W
2	A2	120°	GSM900	73 W	600 W
3	A3	240°	GSM900	73 W	600 W
4a	A4	60°	GSM1800	175 W	900 W
5a	A5	180°	GSM1800	175 W	900 W
6a	A6	300°	GSM1800	160 W	900 W
4b	A4	60°	UMTS	0	1000 W
5b	A5	180°	UMTS	0	1000 W
6b	A6	300°	UMTS	0	1000 W

2.1 Breitbandige Messung

Die Hochrechnung erfolgt nach dem gleichen Schema wie in Kapitel 5.3 der GSM-Messempfehlung. Die kombinierte Versorgung mit GSM1800 und UMTS durch eine Dualband-Antenne gilt als Versorgung einer einzelnen Zelle (so werden beispielsweise die Zellen 4a und 4b im obigen Beispiel zu einer einzigen Zelle zusammengefasst). Die aktuelle Sendeleistung P_i einer solchen Zelle i entspricht der aktuellen Sendeleistung des BCCH von GSM1800 während der Messung, die bewilligte Sendeleistung ist die Summe der für diese Zelle bewilligten GSM1800- und UMTS-Leistungen.

Für das obige Beispiel ergibt dies die folgenden Hochrechnungsfaktoren K_i :

Zelle i	Antenne	Hauptstrahlrichtung	Funkdienst	aktuelle Sendeleistung (ERP) P_i des BCCH	bewilligte Sendeleistung (ERP) $P_{i,bew}$	Hochrechnungsfaktor K_i
1	A1	0°	GSM900	85 W	600 W	2.66
2	A2	120°	GSM900	73 W	600 W	2.87
3	A3	240°	GSM900	73 W	600 W	2.87
4a+4b	A4	60°	GSM1800/UMTS	175 W	1900 W	3.30
5a+5b	A5	180°	GSM1800/UMTS	175 W	1900 W	3.30
6a+6b	A6	300°	GSM1800/UMTS	160 W	1900 W	3.45

Der höchste Hochrechnungsfaktor beträgt 3.45. Dieser Wert ist für die Berechnung des Beurteilungswertes gemäss Gleichung (4) der GSM-Messempfehlung zu verwenden. Beträgt der (örtlich) höchste Messwert E_{max} beispielsweise 1.2 V/m, dann ergibt sich der Beurteilungswert E_B wie folgt:

$$E_B = 1.2 \text{ V/m} \cdot 3.45 = 4.14 \text{ V/m}.$$

Damit ist der Anlagegrenzwert von 5 V/m eingehalten.

2.2 Frequenzselektive Messung

Es werden die BCCH-Kanäle sämtlicher GSM-Zellen der Anlage einzeln gemessen. Die Hochrechnung erfolgt nach dem gleichen Schema wie in Kapitel 6.3 der GSM-Messempfehlung. Im Gegensatz zum Vorgehen bei der breitbandigen Messung (Abschnitt 2.2) wird die UMTS-Versorgung als Versorgung einer eigenständigen Zelle betrachtet. Als aktuelle Sendeleistung P_i einer solchen UMTS-Zelle wird ersatzweise die während der Messung vorliegende Sendeleistung des BCCH von GSM1800 verwendet, der über dieselbe Antenne abgestrahlt wird.

Für das obige Beispiel ergibt dies die folgenden Hochrechnungsfaktoren K_i :

Zelle i	Antenne	Hauptstrahlrichtung	Funkdienst	Aktuelle Sendeleistung (ERP) P_i des BCCH	Bewilligte Sendeleistung (ERP) $P_{i,bew}$	Hochrechnungsfaktor K_i
1	A1	0°	GSM900	85 W	600 W	2.66
2	A2	120°	GSM900	73 W	600 W	2.87
3	A3	240°	GSM900	73 W	600 W	2.87
4a	A4	60°	GSM1800	175 W	900 W	2.27
5a	A5	180°	GSM1800	175 W	900 W	2.27
6a	A6	300°	GSM1800	160 W	900 W	2.37
4b	A4	60°	UMTS	175 W ¹⁾	1000 W	2.39
5b	A5	180°	UMTS	175 W ¹⁾	1000 W	2.39
6b	A6	300°	UMTS	160 W ¹⁾	1000 W	2.50

1) BCCH von GSM1800

In der nachstehenden Tabelle findet sich für dieses Beispiel das Ergebnis einer hypothetischen frequenzselektiven Messung und dessen Hochrechnung für den massgebenden Betriebszustand.

Zelle i	Antenne	Funkdienst	Messwert $E_{i,max}$ des BCCH	Hochrechnungsfaktor K_i	Hochgerechneter Messwert $E_{i,h}$
1	A1	GSM900	0.10 V/m	2.66	0.27 V/m
2	A2	GSM900	0.12 V/m	2.87	0.34 V/m
3	A3	GSM900	0.63 V/m	2.87	1.81 V/m
4a	A4	GSM1800	0.08 V/m	2.27	0.18 V/m
5a	A5	GSM1800	0.69 V/m	2.27	1.57 V/m
6a	A6	GSM1800	0.18 V/m	2.37	0.43 V/m
4b	A4	UMTS	0.08 V/m ¹⁾	2.39	0.19 V/m
5b	A5	UMTS	0.69 V/m ¹⁾	2.39	1.65 V/m
6b	A6	UMTS	0.18 V/m ¹⁾	2.50	0.45 V/m

1) Messwert für den BCCH von GSM1800

Daraus wird gemäss Gleichung (7) der GSM-Messempfehlung der Beurteilungswert E_B berechnet. Es wird empfohlen, vorerst für GSM und UMTS je eine Summenfeldstärke E_{GSM} und E_{UMTS} zu berechnen, diese im Messbericht separat anzugeben und am Schluss zum Beurteilungswert für die Anlage zu kombinieren.

$$E_{GSM} = \sqrt{\sum_{GSM} E_{i,h}^2} = \sqrt{0.27^2 + 0.34^2 + \dots + 0.43^2} \text{ V/m} = 2.48 \text{ V/m}$$

$$E_{UMTS} = \sqrt{\sum_{UMTS} E_{i,h}^2} = \sqrt{0.19^2 + 1.65^2 + 0.45^2} \text{ V/m} = 1.72 \text{ V/m}$$

Der Beurteilungswert E_B für die gesamte Anlage beträgt

$$E_B = \sqrt{E_{GSM}^2 + E_{UMTS}^2} = \sqrt{2.48^2 + 1.72^2} \text{ V/m} = 3.02 \text{ V/m} .$$

Damit ist der Anlagegrenzwert von 5 V/m eingehalten.

3. Deklaration von UMTS im Standortdatenblatt

Die Selbstdeklaration des Netzbetreibers im Standortdatenblatt dient als Grundlage für die Baubewilligung und ist für ihn verbindlich. Mit der Baubewilligung erhält der Gesuchsteller das Recht, die Anlage mit den deklarierten Einstellungen zu betreiben. Die Behörde überprüft nach Inbetriebnahme, eventuell nur stichprobenweise, ob die Anlage innerhalb des bewilligten Rahmens betrieben wird. Für die NIS-Belastung wichtige Anlagegrössen sind:

- die Antennentyp(en) inkl. Antennendiagramme pro Funkdienst
- die Höhe der Antenne(n) über Boden
- die Senderichtung der Antenne(n) im Azimut und in der Elevation
- die Sendeleistung (ERP) pro Funkdienst

Im Zuge des UMTS-Aufbaus wurden in den letzten Monaten viele Standortdatenblätter und Baugesuche eingereicht. Häufig soll UMTS auf bereits bestehenden GSM-Sendeanlagen installiert und über eine existierende GSM1800-Sendeantenne abgestrahlt werden. Wiederholt wurde in solchen Fällen im Standortdatenblatt nur die Summe der Sendeleistungen von GSM1800 und UMTS deklariert. Dies steht im Widerspruch zur Vollzugsempfehlung⁴ (S. 35): "Bei Antennen, die für 2 Funkdienste(z.B. GSM1800 und UMTS) eingesetzt werden, müssen 2 Spalten ausgefüllt werden. Die Angabe der ERP in Zusatzblatt 1 (pro Antenne) ist daher entsprechend aufzuteilen."

Bei Abnahmemessungen muss das Messergebnis auf die bewilligte Sendeleistung hochgerechnet werden. GSM- und UMTS-Strahlung wird in absehbarer Zeit mit je eigenen Messmethoden erfasst werden und daher individuell hochgerechnet werden müssen. Es ist deshalb unverzichtbar, bereits bei der Baueingabe die maximal vorgesehenen, zu bewilligenden Sendeleistungen für GSM1800 und UMTS separat und verbindlich anzugeben, auch wenn die beiden Funkdienste über die gleiche Antenne abgestrahlt werden. Es ist in diesem Fall daher in den Zusatzblättern 2 bis 4 des Standortdatenblatts je eine Spalte für GSM1800 und für UMTS auszufüllen.

⁴ Mobilfunk- und WLL-Basisstationen; Vollzugsempfehlung zur NISV. Vollzug Umwelt, BUWAL 2002

4. Überprüfung der Senderichtungen der Antennen bei Abnahmemessungen

Im Rahmen der Baubewilligung einer Mobilfunksendeanlage wird für jede einzelne Antenne die Senderichtung im Azimut und in der Elevation festgelegt. Alternativ dazu kann für diese Senderichtungen ein Winkelbereich bewilligt werden, innerhalb dessen die Antenne ohne Meldung an die Behörde ausgerichtet werden darf. Diese Winkel oder Winkelbereiche sind im Standortdatenblatt festgehalten. Falls ein Winkelbereich bewilligt wurde, ist für jeden untersuchten OKA oder OMEN die so genannte "kritische Senderichtung" der Antenne angegeben. Es handelt sich um diejenige Ausrichtung der Antenne innerhalb des bewilligten Winkelbereichs, welche am betreffenden Ort zur höchsten NIS-Belastung führt.

In der GSM-Messempfehlung ist festgehalten, dass der Netzbetreiber dem Auftraggeber oder der Messfirma die zum Zeitpunkt der Messung aktuellen Senderichtungen der Antennen bekannt geben muss. Diese Angaben sind auch in den Messbericht zu übernehmen. Falls die aktuelle Ausrichtung der Antennen nicht ihrer "kritischen Senderichtung" entspricht, müssen die Antennen für die Dauer der Messung neu justiert und in die kritische Richtung ausgerichtet werden. Solche Justierungen an der Sendeanlage kann nur der Anlagebetreiber vornehmen. Eine Abnahmemessung kann deshalb in diesem Fall grundsätzlich nur mit dem Wissen des Betreibers und unter dessen aktiver Mitarbeit erfolgen. Dabei kann es vorkommen, dass die kritische Senderichtung ein und derselben Antenne für verschiedene OMEN unterschiedlich ist. Dies bedeutet, dass bei Messungen an verschiedenen OMEN die Antennen unter Umständen sogar während eines Messauftrags nachjustiert werden müssen.

Obschon die korrekte Einstellung der Senderichtungen in der Verantwortung des Betreibers liegt, empfiehlt es sich, diese Einstellungen anlässlich einer Abnahmemessung grob zu überprüfen. Die Messfirma kann dies visuell aus der Ferne durchführen, ohne die Anlage betreten zu müssen. Diese Plausibilitätsprüfung dient der Erkennung allfälliger grober Abweichungen vom bewilligten Zustand. Das Ergebnis der Plausibilitätsprüfung soll im Messbericht festgehalten werden.

Für den Fall, dass für die Senderichtungen ein Winkelbereich bewilligt wurde, bedarf es einer vorgängigen Koordination zwischen der Messfirma und dem Netzbetreiber. Die aktuellen Betriebsdaten der Anlage (Sendeleistungen und Senderichtungen) müssen frühzeitig vor der geplanten Messung eingeholt werden. Stimmt die aktuell eingestellte Senderichtung nicht mit der gemäss Standortdatenblatt kritischen Senderichtung überein, muss ein Vertreter des Netzbetreibers während der Messungen vor Ort anwesend sein und die Antennen neu ausrichten.

5. Information der Behörden über die Durchführung von Abnahmemessungen

Abnahmemessungen werden in der Regel durch die zuständige Bewilligungsbehörde verfügt. Diese hat oft ein Interesse, den Messungen beizuwohnen. Es wird den Betreibern daher empfohlen, die zuständige NIS-Fachstelle und die Standortgemeinde frühzeitig über den genauen Zeitpunkt einer geplanten Abnahmemessung zu informieren. Der Betreiber kann diese Aufgabe an die Messfirma delegieren.

6. Abnahmemessungen in grossen Innenräumen

Laut GSM-Messempfehlung gilt der Anlagegrenzwert als eingehalten, wenn an einem Ort mit empfindlicher Nutzung – in der Praxis handelt es sich vorwiegend um Innenräume – die örtlich höchste, von der Anlage stammende NIS-Belastung im massgebenden Betriebszustand den AGW nicht überschreitet. Bei Anwendung der frequenzselektiven Methode soll hierzu das „Messvolumen“ mit der Messantenne abgetastet werden, bis für jeden BCCH der maximale Wert registriert ist. Diese örtlichen Höchstwerte sind anschliessend zu summieren. Unter „Messvolumen“ wurde bisher implizit der ganze Innenraum in einer Höhe von 0.5 bis 1.75 m über dem Fussboden verstanden. Dabei kann es vorkommen, dass sich die Maxima verschiedener BCCH nicht genau an derselben Stelle befinden. Da sich die Feldstruktur in einem Innenraum zeitlich verändern kann, können die Feldstärkemaxima der einzelnen BCCH wandern und zu einem späteren Zeitpunkt trotzdem örtlich zusammenfallen. Die Summierung der einzelnen Höchstwerte trägt diesem Umstand Rechnung und liefert einen Beurteilungswert, der immer auf der sicheren Seite liegt.

Ist allerdings ein Raum sehr gross und liegen die Orte maximaler Feldstärke für verschiedene BCCH in diesem Raum weit voneinander entfernt, ist es unwahrscheinlich, dass diese Maxima sich so weit verschieben können, dass sie örtlich zusammenfallen. Eine solche Situation ist beispielsweise dann gegeben, wenn in einen grossen Innenraum die Strahlung von zwei Antennen eindringt, welche zwar zur selben Anlage gehören, jedoch seitlich versetzt sind. Eine typische Realisierung einer solchen Situation sind zwei Antennen auf dem Dach eines 50 m langen Gebäudes, welche an den gegenüberliegenden Dachkanten im Abstand von ca. 50 m montiert sind. Im obersten Stockwerk dieses Gebäudes befinden sich die örtlichen Höchstwerte der beiden BCCH direkt oder schräg unter der jeweiligen Antenne und sind somit um einige zehn Meter separiert. Ist das oberste Stockwerk dieses Gebäudes ein zusammenhängender Raum, z.B. ein Grossraumbüro, dann ergäbe die arithmetische Summierung der beiden Maxima eine unrealistisch hohe Feldstärke, welche im selben Raumpunkt grundsätzlich nicht auftreten kann. Im folgenden wird daher präzisiert, was als „Messvolumen“ zu verstehen ist. Diese Präzisierung ändert nichts an der Tatsache, dass der ganze Raum als Ort mit empfindlicher Nutzung zu betrachten ist.

Als Messvolumen im Sinne der GSM-Messempfehlung gilt:

- Bei Räumen mit einer Grundfläche bis zu 25 m²: der ganze Innenraum in einer Höhe zwischen 0.5 und 1.75 m und im Abstand von 0.5 m von der Wand.
- Bei Räumen mit einer Grundfläche über 25 m²: ein Volumen mit einer Grundfläche von 25 m² in Höhen zwischen 0.5 und 1.75 m über dem Fussboden. Innerhalb dieses Volumens sind die örtlichen Höchstwerte der verschiedenen BCCH zu erfassen, auf den massgebenden Betriebszustand hochzurechnen und zu summieren. In der Regel muss mehr als ein solches Volumen ausgemessen werden. Massgebend ist dasjenige Messvolumen, in dem der höchste Beurteilungswert resultiert.

Bei Anwendung der Breitbandmethode ist diese Präzisierung nicht nötig, da Breitbandsonden grundsätzlich die Summenfeldstärke an einem Raumpunkt messen.

7. Anforderung an Messberichte

Kapitel 4.9 der GSM-Messempfehlung hält fest, dass der Messbericht so detailliert sein soll, dass alle Schritte der Messung und der Weiterverarbeitung der Messwerte nachvollzogen werden können. Derzeit arbeiten die kantonalen NIS-Fachstellen und die Betreiber an einer Standardisierung von Messberichten. BUWAL und METAS möchten in diesem Zusammenhang zwei generelle Hinweise geben:

- Ein Prüfbericht (Messbericht) einer akkreditierten Firma muss das Logo der Schweizerischen Akkreditierungsstelle (SAS)



STS (xy)

mit der dazugehörigen Akkreditierungsnummer (xy) tragen, nur dann gilt die Messung als akkreditierte Messung. Dabei muss an prominenter Stelle im Prüfbericht angegeben sein, mit welcher Methode (gemäss den Begriffen im Geltungsbereich der Akkreditierung) und nach welcher Referenz (z.B. Messempfehlung BUWAL/METAS; firmeninterne Prüfnorm, EN) die Messung durchgeführt wurde. Messungen oder Berechnungen einer akkreditierten Firma nach einer Methode, für die sie nicht akkreditiert ist, dürfen hingegen nicht als akkreditierte Prüfung deklariert werden und der Messbericht darf das SAS-Logo nicht verwenden.

Falls ein Labor für einen Prüfauftrag sowohl Methoden anwendet, für die es akkreditiert ist als auch solche, für die es nicht akkreditiert ist, darf das SAS-Logo verwendet werden. Die Ergebnisse der nichtakkreditierten Methoden müssen jedoch im Bericht deutlich separiert und mit der Bezeichnung "ausserhalb des akkreditierten Bereichs" versehen werden. Auch eine Verrechnung von Ergebnissen aus dem akkreditierten und dem nichtakkreditierten Bereich zu einem neuen Ergebnis gilt nicht als akkreditierte Prüfung. Generell soll der Berichtsinhalt aufgrund von nicht akkreditierten Methoden umfangmässig deutlich geringer sein als der Inhalt aufgrund der akkreditierten Methoden.

Die Messfirmen, welche für NIS-Messungen akkreditiert sind, sind auf der Internet-Homepage der Schweizerischen Akkreditierungsstelle (SAS) <http://www.sas.ch/de/sas-index.html> ersichtlich, wenn dort unter „Stichwort“ als Suchbegriff "NISV" eingegeben wird. Diese Liste wird durch die SAS laufend aktualisiert. Für jede der akkreditierten Firmen sind diejenigen Messmethoden aufgeführt, für welche die Akkreditierung erlangt wurde. So haben sich einige Firmen nur für Breitbandmessungen, andere für Breitbandmessungen und für die selektive Messmethode ("Schwenkmethode"), einzelne zusätzlich für selbstdefinierte Messverfahren, welche nicht in der GSM-Messempfehlung des BUWAL/METAS festgelegt sind, akkreditieren lassen.

- Es wird empfohlen, für den schnellen Leser jedem Messbericht eine unterschriebene und datierte⁵ Kurzzusammenfassung mit einheitlichem Inhalt und Format voranzustellen. Diese Zusammenfassung soll für jeden Messort den ermittelten Beurteilungswert für den massgebenden Betriebszustand und den zugehörigen Grenzwert enthalten. Um Konfusion zu vermeiden, soll in der Zusammenfassung auf Messwerte oder extrapolierte Werte, die sich nicht auf den massgebenden Betriebszustand beziehen, verzichtet werden. Solche Zusatzangaben haben ihren Platz in den Detailkapiteln eines Messberichts.

8. Mängel im Zusammenhang mit Abnahmemessungen

Sollten der Auftraggeber einer Abnahmemessung oder die Behörde oder Dritte feststellen, dass eine akkreditierte Messfirma bei der Messung fehlerhaft arbeitet oder unvollständige oder fehlerhafte Messberichte abliefern, kann der Auftraggeber von der Messfirma eine Wiederholung der Messung oder eine Richtigstellung verlangen. Die Messfirma muss solche Vorkommnisse gemäss der Norm ISO/IEC 17025 dokumentieren und der Schweizerischen Akkreditierungsstelle (SAS) bei deren periodischen Kontrollen offenlegen und detailliert begründen.

Im Wiederholungsfall können solche Mängel direkt der SAS unter Beilage einer Kopie des Messberichts gemeldet werden. Solche Rügen dürfen allerdings nur Messungen betreffen, für welche die Firma akkreditiert ist, und sie dürfen nur Fehler und Unterlassungen, nicht jedoch Aspekte der Darstellung von Messergebnissen zum Gegenstand haben. Die SAS untersucht derartige Vorkommnisse von Amtes wegen, wird aber bei unbegründetem Vorwurf die Kosten der reklamierenden Partei verrechnen.

Adresse: Schweizerische Akkreditierungsstelle (SAS), METAS, Lindenweg 50,
3003 Bern-Wabern

⁵ Diese Unterschrift gilt für den ganzen Messbericht.