



**Nichtionisierende Strahlung**

# **UMTS Vergleichsmessungen Sommer 2006**



**METAS-Bericht Nr. 2006-218-598**

Herausgeber Bundesamt für Metrologie (METAS)  
Sektion Elektrizität  
Lindenweg 50  
3003 Bern-Wabern  
Tel. +41 31 32 33 111  
Fax +41 31 32 33 210  
www.metas.ch

Verfasser Heinrich Ryser, Beat Mühlemann (METAS), Jürg Baumann (BAFU)

Nachdruck Das Dokument darf nicht zu Werbezwecken verwendet werden. Weitergabe nur in vollständiger Form gestattet.

Bericht 2006-218-598. Dieser Bericht kann als pdf-Dokument von <http://www.metas.ch/2006-218-598> abgerufen werden.

Bern-Wabern, 15. Januar 2007

# UMTS Vergleichsmessungen Sommer 2006

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Messanordnung und Messablauf.....	5
3	Korrektur der Drift in der experimentellen Anordnung .....	8
4	Überprüfung der Kalibration der Messgeräte.....	9
5	Eigenschaften der verwendeten Messgeräte.....	11
6	Resultate der Vergleichsmessung .....	13
6.1	Überblick über alle Messresultate .....	13
6.2	Bemerkungen zu den einzelnen Messungen .....	15
6.3	Bereinigung der Messresultate.....	17
6.4	Ermittlung der Messunsicherheit .....	17
6.5	Beurteilungswert.....	22
7	Schlussfolgerungen.....	23
8	Literatur .....	23

## Abkürzungen:

UMTS: Universal Mobile Telecommunication System  
HSDPA: High Speed Downlink Package Access  
P-CPICH: Primary Common Pilot Channel  
P-SCH: Primary Synchronisation Channel  
S-SCH: Secondary Synchronisation Channel  
P-CCPCH: Primary Common Control Physical Channel

SAS: Schweizerische Akkreditierungsstelle  
METAS: Bundesamt für Metrologie  
BAFU: Bundesamt für Umwelt  
ETSI: European Telecommunications Standards Institute

## 1 Einleitung

Im Herbst 2003 haben das METAS und das BUWAL (heute BAFU) den Entwurf einer Messempfehlung für UMTS-Basisstationen [1] herausgegeben. Diese Empfehlung wurde zur Erprobung in der Praxis freigegeben. Zur Validierung der vorgeschlagenen Messmethoden, insbesondere der code-selektiven Messung mit der Schwenkmethode, für die vor drei Jahren erst vereinzelte Erfahrungen vorlagen, wurde die Durchführung eines Messvergleichs angekündigt. Der vorliegende Bericht beschreibt die Durchführung und das Ergebnis dieser Vergleichsmessung mit code-selektiven Messgeräten, welcher vom METAS im Sommer 2006 unter Beteiligung von 12 Messlabors durchgeführt wurde.

Die Vergleichsmessung hatte drei Ziele:

1. Vergleich der verschiedenen in Gebrauch stehenden code-selektiven Messgeräte im Bezug auf die Eignung für die in der Messempfehlung [1] vorgesehene „Schwenkmethode“. Dabei interessiert besonders das Verhalten der Messgeräte bei zeitlich variablen Mehrwegsignalen.
2. Bestimmung der unvermeidlichen Messunsicherheit für code-selektive Messungen mit der empfohlenen Schwenkmethode unter definierten Bedingungen, unter Einschluss der Streuung durch verschiedene Messgeräte, Messsonden und Vorgehensweisen der messenden Personen.
3. Vergleichsmessung für die von SAS für die code-selektive Messung nach der provisorischen Messempfehlung akkreditierten Messlabors in der Schweiz.

An der Vergleichsmessung waren alle 7 zurzeit von SAS für die code-selektive UMTS-Messmethode akkreditierten, sowie einige weitere interessierte Messlabors vertreten.

Das Messprogramm bestand aus drei Teilen:

1. Messung der Feldstärke von definierten UMTS-Signalen (einmal mit Verkehr; einmal ohne Verkehr) nach der code-selektiven Messmethode durch das Personal der beteiligten Messlabors in vier verschiedenen festgelegten Messvolumina in zwei Räumen des METAS. Dies ergab insgesamt 8 verschiedene Konfigurationen, für welche das Messlabor mit der Schwenkmethode das räumliche Maximum zu finden und quantitativ zu bestimmen hatte.
2. Überprüfung der Gerätekalibrierung mit einem thermischen Leistungsmessgerät bei der für die Vergleichsmessung verwendeten Frequenz im Labor des METAS. Durchführung der Messung durch Personal von METAS mit Unterstützung des Messlabors.
3. Test-Serie im Labor des METAS mit simulierten dynamischen Mehrwegsignalen. Durchführung der Messung durch Personal von METAS mit Unterstützung des Messlabors. Diese Messserie wurde für jeden Gerätetyp an mindestens einem Exemplar durchgeführt. Über diese Messungen wird in einem separaten Bericht (METAS Bericht 2006-218-600) [2] ausführlicher berichtet.

Die Vergleichsmessungen wurden an 11 Tagen zwischen dem 23.6.2006 und dem 7.7.2006 durchgeführt. Es waren folgende 12 Messlabors beteiligt:

Emprevent,	CH 8304 Wallisellen	STS 437
INVENTIS AG	CH-8041 Zürich	STS 353
Maxwave	CH-8050 Zürich	STS 395
montena emc sa	CH-1728 Rossens	STS 024
Neosys	CH-4563 Gerlafingen	STS 380
Schaffner EMV AG	CH-4542 Luterbach	STS 015
Supsi	CH-6952 Canobbio	STS 309
Swisscom Innovations	CH-3050 Bern	STS 121
Narda / Emitec	D-72793 Pfullingen / CH-6343 Rotkreuz	
Prof. Wuschek	D-93049 Regensburg	
BAKOM	CH-2501 Biel	
METAS	CH-3003 Bern-Wabern	

Von den 12 beteiligten Messlabors sind 7 für die code-selektive UMTS-Messmethode akkreditiert.

Die folgenden 7 Gerätetypen waren mit total 17 verschiedenen Exemplaren vertreten:

3 x SRM (Narda), 1 x MT8220A (Anritsu), 1 x Y400 (Tektronix),  
8 x TSMU (Rohde & Schwarz), 2 x ESPI (Rohde & Schwarz), 1 x FSP (Rohde & Schwarz) ,  
1 x FSQ26 (Rohde & Schwarz).

Drei verschiedene Sensortypen (Antennen) waren vertreten: Logperiodisch, Bikonisch und Isotrop.

Es wurden insgesamt 22 unabhängige Messdurchgänge für die 8 verschiedenen Konfigurationen durchgeführt.

Bemerkung:

Die Reihenfolge der Messungen in den Figuren und Tabellen (Messung Nr.) ist immer gleich, entspricht aber nicht der Reihenfolge der Messlabors in der oben stehenden Zusammenstellung.

## 2 Messanordnung und Messablauf

Auf dem Parkplatz ausserhalb des Gebäudes E im Areal des METAS haben wir an zwei Beleuchtungskandelabern je eine Sendeantenne (Typ SPA2000) montiert (Fig. 1). In einem Kasten waren zwei Leistungsverstärker, zwei Richtkoppler und ein thermisches Leistungsmessgerät zur Kontrolle der Sendeleistungen sowie ein Ventilator zur Kühlung der Verstärker und ein Temperaturmessgerät zur Temperaturüberwachung eingebaut (Fig.2).

Die UMTS-Signale wurden mit zwei ausgeliehenen Signalgeneratoren erzeugt, die im Keller des Gebäudes E aufgebaut waren. Einer der beiden UMTS-Generatoren konnte auch Signale nach dem neuesten Übertragungsmodus HSDPA simulieren. Als Sendefrequenz wurde die uns vom BAKOM zugeteilte Frequenz 2.1226 GHz verwendet. Die Antenne links vom Fenster aus gesehen benützte den P-CPICH Code 0, die Antenne rechts vom Fenster aus gesehen benützte den P-CPICH Code 160.

Gemessen wurde in zwei Räumen im Gebäude E des METAS:

- Raum im 1. Stock mit Sicht durchs Fenster auf den Parkplatz mit den zwei Sendeantennen (Raum 1, Fig. 3)
- Korridor im Innern des Gebäudes E (Raum 2, Fig. 4 ).

In beiden Räumen war am Boden ein Quadrat von 1 m x 1 m Länge markiert. Die Messlabors hatten die Aufgabe, die maximale Feldstärke sowohl im Volumen über diesem markierten Quadratmeter (Lokales Maximum) als auch im ganzen Raum (globales Maximum) zu finden. Das globale Maximum befand sich ausserhalb des markierten Teilvolumens.

Die Sendeleistung für die UMTS-Signale ohne Verkehr wurde so eingestellt, dass die auf den massgebenden Betriebszustand hochgerechnete elektrische Feldstärke in Raum 1 im Bereich des Anlagegrenzwertes lag. Wegen der Dämpfung durch Mauern etc. war die Feldstärke im Raum 2 wesentlich tiefer. Für das Signal mit Verkehr musste die Sendeleistung des P-CPICH um 8 dB (Code 160) bzw. 7 dB (Code 0) reduziert werden, damit die Verstärker nicht übersteuert wurden.

Ein Messdurchgang umfasste somit 8 Konfigurationen (2 Räume; 2 Messvolumina; 2 Betriebszustände). Sie sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die Fensterflügel und die Türe in Raum 1 wurden immer in der gleichen Position fixiert. Der Warenlift hinter Raum 1 und seitlich von Raum 2 wurde ebenfalls mit offenen Türen immer in der gleichen Position festgehalten. Während der Messungen in Raum 2 haben sich in Raum 1 keine Personen aufgehalten. Der Bereich des Parkplatzes zwischen den Sendeantennen und dem Gebäude war während der Messung abgesperrt.

Ein vollständiger Messdurchgang umfasste die folgenden Schritte in der angegebenen Reihenfolge:

1. Aufbau der Messeinrichtung durch das Messpersonal des jeweiligen Labors in Raum 1
2. Kontrollmessung der Verstärker-Ausgangsleistung und der Feldstärke vor dem Fenster von Raum 1 durch Personal von METAS (siehe Kapitel 3)

3. Messung der 8 Konfigurationen in Raum 1 und Raum 2 durch Personal des teilnehmenden Messlabors
4. Wiederholung der Kontrollmessung der Verstärker-Ausgangsleistung und der Feldstärke vor dem Fenster von Raum 1 durch Personal von METAS (Kapitel 3)
5. Transport der Messausrüstung zum EMV-Labor des METAS für die Überprüfung der Kalibration und für zusätzliche Messungen mit simulierten Mehrwegsignalen.

Die meisten Messungen wurden durch unterschiedliche Personen mit unterschiedlichen Typen und Exemplaren von Messgeräten durchgeführt. In einzelnen Fällen wurde das gleiche Gerät von verschiedenen Personen an unterschiedlichen Messtagen verwendet, oder die gleiche Person machte am selben Mess-tag Messungen mit zwei unterschiedlichen Geräten. So entstanden mit 7 Gerätetypen, 12 Messlabors und 17 verschiedenen Geräteexemplaren insgesamt 22 Messdurchgänge für jede der 8 Konfiguration, die alle als unabhängig voneinander angesehen werden können.

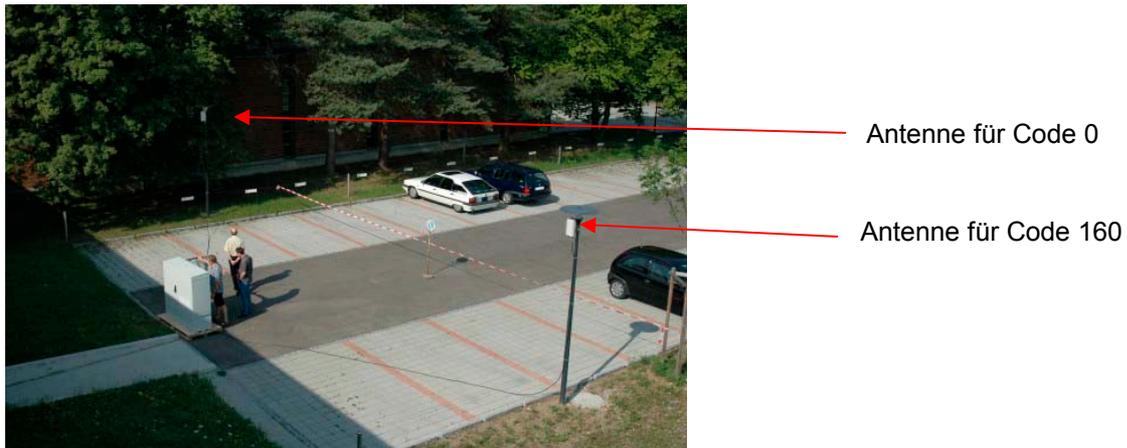


Fig. 1 Blick aus dem Fenster von Raum 1 auf die beiden Antennen und den Verstärkerkasten



Fig. 2 Blick in den geöffneten Verstärkerkasten



Fig. 3 Messung in Raum 1  
(Teilvolumen am Boden markiert)



Fig. 4 Messung in Raum 2  
(Teilvolumen am Boden markiert)

Konfiguration	Raum	Volumen	UMTS Signal
1	1	Ganzes Volumen	Ohne Verkehr **)
2	1	Teilvolumen *)	Ohne Verkehr **)
3	2	Ganzes Volumen	Ohne Verkehr **)
4	2	Teilvolumen *)	Ohne Verkehr **)
5	1	Ganzes Volumen	Mit Verkehr ***)
6	1	Teilvolumen *)	Mit Verkehr ***)
7	2	Ganzes Volumen	Mit Verkehr ***)
8	2	Teilvolumen *)	Mit Verkehr ***)

Tabelle 1 Zusammenstellung der 8 Konfigurationen, die von jedem Messlabor zu messen waren

- \*) Am Boden war ein Quadrat von 1 m x 1 m Länge markiert. Dessen Position wurde im Raum 2 so gewählt, dass die beiden P-CPICH-Signale ungefähr gleich stark waren.
- \*\*) Bei der Betriebsart „Ohne Verkehr“ waren nur die beiden P-CPICH und die zugehörigen Steuerkanäle P-SCH, S-SCH und P-CCPCH für Code 0 (Antenne links) und Code 160 (Antenne rechts) aktiv. Die Leistung der Signale wurde so eingestellt, dass die mit einem typischen Hochrechnungsfaktor hochgerechnete Feldstärke am Messort in Raum 1 ungefähr den Anlagegrenzwert erreichte. Die PegelEinstellung der beiden Sendesignale wurde für die Konfigurationen 1 bis 4 nicht verändert.
- \*\*\*) Bei der Betriebsart „Mit Verkehr“ war das Signal für Code 0 nach dem ETSI Modell 1 (64 codes) ausgesteuert und der Code 160 nach ETSI Modell 5 (30 codes). Im ETSI Modell 5 sind die Sprachkanäle teilweise mit HSDPA moduliert. Die PegelEinstellung der Pilotkanäle musste gegenüber der Betriebsart „Ohne Verkehr“ um 8 dB (Code 160) bzw 7 dB (Code 0) reduziert werden, damit die Verstärker nicht übersteuert wurden. Die PegelEinstellung der beiden Sendesignale wurde für die Konfigurationen 5 bis 8 nicht verändert. Die gesamte Sendeleistung, einschliesslich der Verkehrskanäle, war gleich hoch wie bei den Konfigurationen 1 bis 4.

Das Messlabor hatte bei den Konfigurationen 1, 3, 5 und 7 die Aufgabe, im ganzen Volumen des Raumes unter Beachtung der im Entwurf der Messempfehlung angeführten Begrenzungen (maximale Höhe über Boden: 1.75 m; maximale Annäherung an Wände, Boden, Decke und Mobiliar: 0.5 m) den Maximalwert (globales Maximum) zu suchen.

Bei den Konfigurationen 2, 4, 6 und 8 war ein Quadrat von 1 m x 1 m am Boden bezeichnet, oberhalb dessen bis zu einer Höhe von 1.75 m über Boden das (lokale) Maximum der Feldstärke zu bestimmen war.

### 3 Korrektur der Drift in der experimentellen Anordnung

Um herauszufinden, wie stabil die zu messende Feldstärke während der ganzen Messkampagne und während jedes einzelnen Messdurchgangs war, haben Fachleute des METAS vor und nach jedem Messdurchgang der 8 Konfigurationen mit einer Hornantenne (Typ BBHA9120A) und einem Leistungsmesskopf NRP-Z51 in einer genau definierten Position vor dem Fenster von Raum 1 die Feldstärke der beiden UMTS-Signale gemessen (Figuren 5 und 6). Die beiden über je eine eigene Sendeantenne emittierten Codes wurden separat gemessen. Dazu wurde der Sender der zu messenden Antenne in einen definierten Zustand gebracht („ohne Verkehr“) und der Sender der anderen Antenne ausgeschaltet. In diesem Betriebszustand wurde zur gleichen Zeit auch die Ausgangsleistung des jeweiligen Verstärkers am Richtkoppler im Verstärkerkasten mit einem thermischen Leistungssensor gemessen.

Die Kontrollmessung der Feldstärke vor dem Fenster an einem fixen Punkt kann zwar nicht direkt in den zu messenden Maximalwert am Messort in Raum 1 und 2 umgerechnet werden. Sie erlaubt aber eine Korrektur für eine allfällige Drift der zu messenden elektrischen Feldstärke.

Die mit der Kontrollmessung festgestellten Unterschiede zwischen den einzelnen Messtagen und die Drift während der einzelnen Messdurchgänge liegen in der Größenordnung von einigen Prozent (Fig. 7). Die vor dem Fenster mit der Hornantenne gemessene elektrische Feldstärke korreliert fast ausnahmslos mit der gemessenen Verstärkerausgangsleistung.

Während der meisten Messdurchgänge ist eine Drift beider Messgrößen in Richtung tieferer Werte erkennbar, d.h. die tatsächlich vorliegende elektrische Feldstärke war zu Beginn der Messung der acht Konfigurationen höher als am Schluss. Die wahrscheinlichste Erklärung für dieses Verhalten ist eine nicht konstante Temperatur im Verstärkerkasten. An den meisten Messtagen war das Wetter ziemlich sonnig und die Temperatur im Kasten stieg während eines Messdurchgangs an. Dadurch verringerte sich offenbar der Verstärkungsfaktor der Verstärker um einige Prozent.



Fig. 5 Blick vom Parkplatz auf das Fenster von Raum 1 mit Hornantenne



Fig. 6 Ausrichten der Hornantenne auf die Antenne mit Code 160

Da der Messvergleich sich auf konstante Sendebedingungen beziehen soll, wurden sämtliche von den Messlabors erhobenen Rohdaten vom METAS nachträglich korrigiert. Für jeden der 22 Messdurchgänge wurde ein Korrekturwert aus dem Mittel zwischen der Kontrollmessung der elektrischen Feldstärke „vorher“ und „nachher“ gebildet. Auch diese Korrektur ist mit einer Unsicherheit behaftet, da der genaue Zeitverlauf der Drift während eines Messdurchgangs nicht detailliert erhoben wurde. In den Berechnungen der Messunsicherheit wurde der Unsicherheitsbeitrag dieser Korrektur berücksichtigt.

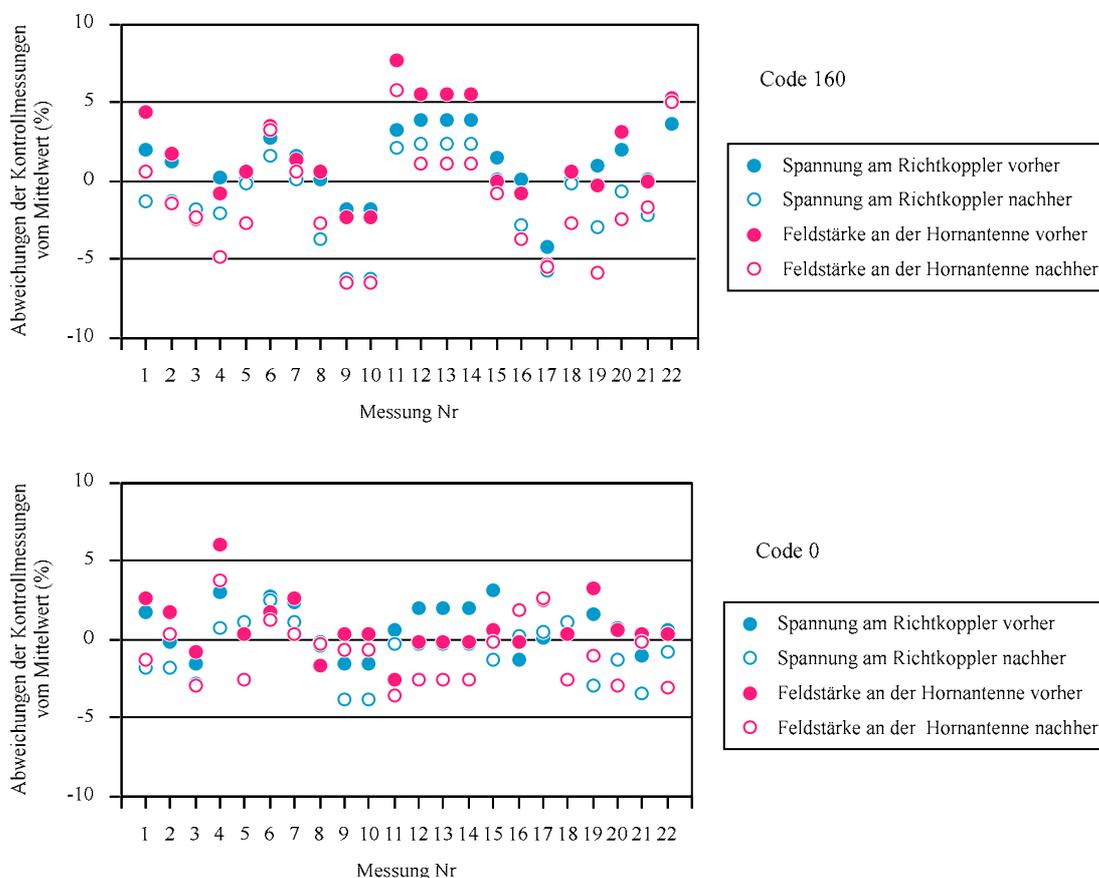


Fig. 7 Kontrollmessung mit Richtkoppler und Hornantenne für Code 0 und Code 160 zur Überprüfung der Stabilität der experimentellen Anordnung

#### 4 Überprüfung der Kalibration der Messgeräte

Bei einer Vergleichsmessung im April/Mai 2005 hatten wir vermutet, dass die Kalibration der UMTS-Messgeräte durch die Hersteller der Maximumsuche gemäss der Schwenkmethode nicht voll gerecht wird und für diesen speziellen Anwendungsfall ergänzt werden muss. Deshalb wurden zwischen Juni und Oktober 2005 alle Geräte der in der Schweiz akkreditierten Messlabors bei METAS neu kalibriert. Dabei zeigten 4 von 12 Messgeräten eine Abweichung gegenüber der Werkskalibrierung von mehr als 1.5 dB.

Mit einer Ausnahme waren alle in der vorliegenden Messkampagne eingesetzten Messgeräte nach diesem erweiterten Verfahren kalibriert worden, und die Messlabors berücksichtigten diese Zusatzkalibrierung bei der Erstellung ihrer Messberichte.

METAS hat die Gelegenheit wahrgenommen, die Kalibration aller eingesetzten Messgeräte erneut zu überprüfen, um einen Anhaltspunkt über deren Langzeitstabilität zu erhalten.

Zu diesem Zweck wurde im Labor mit dem Signalgenerator SMIQ ein UMTS Signal erzeugt, das nur die für die Synchronisation notwendigen Signale enthält (Figur 8). Der Anteil des P-CPICH ist mit dieser Einstellung genau 3 dB tiefer als die mit dem Referenzmesskopf thermisch gemessene Leistung. Der für die Kalibrierung verwendete Pegelbereich von ungefähr -20 dB entspricht einem typischen Messwert bei der praktischen Messung.

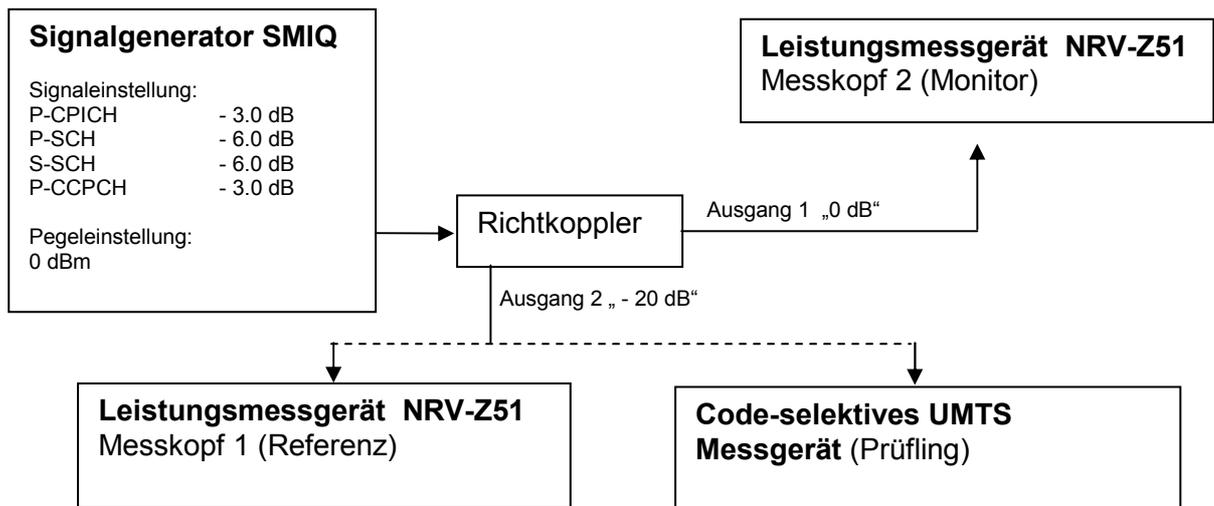


Fig. 8 Messaufbau für die Überprüfung der Kalibration der code-selektiven UMTS-Messgeräte

Am Ausgang 2 des Richtkopplers wird zuerst als Referenz die Gesamtleistung mit dem thermischen Messkopf 1 gemessen. Anschliessend wird das zu kalibrierende Messgerät an der gleichen Stelle angeschlossen und während 30 s betrieben. Der nach 30 s angezeigte Maximalwert wird als Messresultat registriert und mit dem Referenzwert verglichen. Der angezeigte Wert muss genau 3 dB tiefer sein als der mit dem thermischen Messkopf gemessene Wert der Gesamtleistung. Abweichungen davon werden als Kalibrationsabweichung bezeichnet. Ein negativer Wert bedeutet, dass der gemessene Wert zu hoch ist.

Bei der Überprüfung der Kalibration im Rahmen dieser Vergleichsmessung waren die Abweichungen von 16 Messgeräten kleiner als 1 dB. Nur ein Messgerät (Messung 5) hatte eine Abweichung von - 2.8 dB. Bei diesem handelte es sich um jenes Messgerät, welches noch nie nach dem hier vorgeschlagenen System kalibriert worden war.

Fig. 9 zeigt die festgestellten Kalibrationsabweichungen bezogen auf die 22 Messdurchgänge. Da in einigen Messdurchgängen das gleiche Messgerät von verschiedenen Personen eingesetzt wurde, weisen in Fig. 9 von den 22 Messdurchgängen einige die gleiche Kalibrationsabweichung auf.

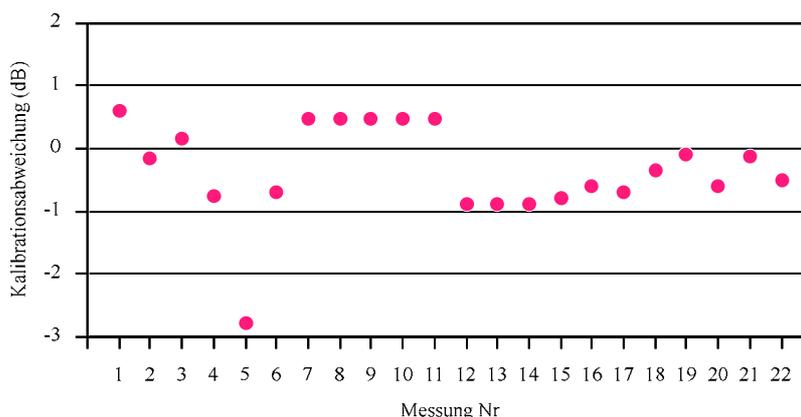


Fig. 9 Kalibrationsabweichungen der verwendeten Messgeräte

Mit Ausnahme des Messgerätes im Messdurchgang Nr. 5 wurden die festgestellten Kalibrationsabweichungen bei der Schlussauswertung der Vergleichsmessung (Kapitel 6.3) nicht berücksichtigt. Solche Kalibrationsabweichungen der Geräte sind in der praktischen Anwendung unvermeidlich und Teil der angegebenen Messunsicherheit.

## 5 Eigenschaften der verwendeten Messgeräte

Über die Messung der Reaktion der Messgeräte auf variable Mehrwegsignale wird ein separater Bericht erstellt, in dem auch ein Vorschlag beschrieben wird, wie die prinzipielle Funktion der Messgeräte durch ein anderes Auswerteverfahren verbessert werden könnte [2].

In Tabelle 2 sind für jeden Messdurchgang einige für die Schwenkmethode wichtige Parameter der jeweils angewendeten Messgeräte zusammengestellt.

Als Antennentyp wird unterschieden zwischen bikonischer Antenne (Bikon), logarithmisch-periodischer Antenne (Logper) und isotroper Sonde (Isotrop). Bei der isotropen Sonde wird mit drei kleinen, zueinander orthogonal orientierten Antennen im Messkopf nacheinander gemessen und die drei Messwerte werden anschliessend betragsmässig miteinander verrechnet.

Als Gerätetyp wird nur unterschieden zwischen Geräten, die Mehrwegsignale verarbeiten können (Multi-path) und Geräten, die nur einen Ausbreitungspfad verarbeiten können (One path).

Die beteiligten Labors sind zum Teil bei der Maximumsuche recht unterschiedlich vorgegangen. Dies hat sich auch in der für einen Messort verwendeten Messzeit geäussert. In der Tabelle ist für jede Messung angegeben, wie viel Zeit das Messlabor an einem Messort für die Maximumsuche eingesetzt hat.

Messung Nr	Antennentyp	Gerätetyp	Anzeige des Maximums während der Messung	Gemessene Reaktionszeit *) des Gerätetyps	Eingesetzte Messzeit für die Maximumsuche
1	Bikon	One path	Keine	750 ms .... 1 s	2 min .... 3 min
2	Logper	One path	MZ	750 ms .... 1 s	5 min .... 7 min
3	Logper	One path	MA	500 ms .... 750 ms	1 min .... 3 min
4	Logper	Multipath	MA	< 125 ms	2 min .... 4 min
5	Logper	Multipath	MA	< 125 ms	2 min .... 4 min
6	Logper	Multipath	MA	< 125 ms	4 min .... 6 min
7	Logper	Multipath	MZ	125 ms .... 250 ms	4 min .... 9 min
8	Isotrop	Multipath	MZ	125 ms .... 250 ms **)	1 min .... 3 min
9	Isotrop	Multipath	MZ	125 ms .... 250 ms **)	1 min .... 3 min
10	Isotrop	Multipath	MZ	125 ms .... 250 ms **)	1 min .... 3 min
11	Isotrop	Multipath	MZ	125 ms .... 250 ms **)	2 min .... 4 min
12	Isotrop	Multipath	MZ	125 ms .... 250 ms **)	5 min .... 20 min
13	Isotrop	Multipath	MZ	125 ms .... 250 ms **)	5 min .... 20 min
14	Bikon	Multipath	MZ	125 ms .... 250 ms	5 min .... 20 min
15	Logper	Multipath	MA	< 125 ms	1 min .... 2 min
16	Logper	Multipath	MA	< 125 ms	1 min .... 2 min
17	Logper	Multipath	MA	< 125 ms	1 min .... 2 min
18	Logper	Multipath	MA	< 125 ms	2 min .... 3 min
19	Logper	Multipath	MA	< 125 ms	2 min .... 4 min
20	Logper	Multipath	MA	< 125 ms	1 min .... 3 min
21	Logper	Multipath	MA	< 125 ms	2 min .... 4 min
22	Logper	Multipath	MA	< 125 ms	2 min .... 4 min

Tabelle 2 Zusammenstellung der wichtigsten Eigenschaften der verwendeten Messeinrichtungen und der für eine Einzelmessung eingesetzten Messzeit

MZ: Maxhold (Nur Zahlenwert)

MA: Maxhold mit optischer und akustischer Anzeige („Schleppzeiger“)

\*) Zur Bestimmung der Reaktionszeit wurde mit dem Mehrwegsimulator das simulierte Signal während einer vorbestimmten kurzen Zeit um 6 dB erhöht und kontrolliert, ob das Messgerät die kurzzeitig erhöhten Werte richtig gemessen hat.

Die verwendeten Zeiten mit erhöhtem Pegel waren:  
5 s, 2 s, 1 s, 750 ms, 500 ms, 250 ms, und 125 ms.

Der höhere Wert in der Tabelle gibt an, für welche simulierte Zeit das Messgerät den kurzzeitig erhöhten Messwert richtig angezeigt hat (Abweichung vom Sollwert < 1 dB). Der tiefere Wert in der Tabelle gibt an, für welche simulierten Zeiten das Messgerät die Pegelerhöhung nicht mehr richtig gemessen hat (Abweichung vom Sollwert > 5 dB). Die tatsächliche Reaktionszeit des Messgerätes liegt dazwischen.

\*\*\*) Bei isotropen Sonden ist die Reaktionszeit pro Raumrichtung angegeben

## 6 Resultate der Vergleichsmessung

### 6.1 Überblick über alle Messresultate

In diesem Abschnitt sind die Ergebnisse aller Einzelmessungen zusammengestellt. Die vom Labor gemessenen Werte für Code 0 und Code 160 wurden mit dem jeweiligen Korrekturfaktor entsprechend Abschnitt 3 korrigiert (Elimination der Drift der Versuchsanordnung) und daraus die Feldstärke des gesamten Codesignals berechnet.

$$E_{Tot} = \sqrt{(E_0)^2 + (E_{160})^2}$$

$E_0$  : drift-korrigierter Messwert für Code 0 (in V/m)

$E_{160}$  : drift-korrigierter Messwert für Code 160 (in V/m)

$E_{Tot}$  : drift-korrigierter Messwert für das gesamte Codesignal (in V/m)

$E_0$ ,  $E_{160}$ , und  $E_{Tot}$  sind in den Figuren 10 bis 17 für die acht Konfigurationen dargestellt, mit dem jeweiligen Mittelwert, der sich aus allen vorliegenden Einzelwerten ergibt.

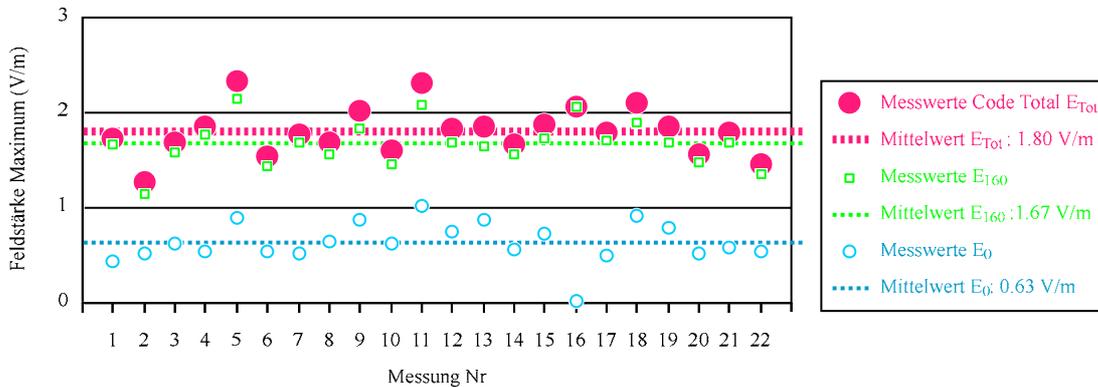


Fig. 10 Alle Messwerte in Konfiguration 1

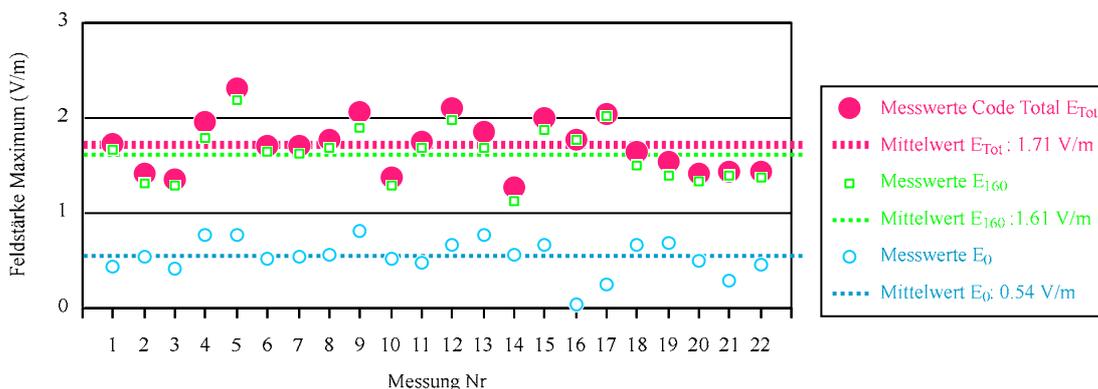


Fig.11 Alle Messwerte in Konfiguration 2

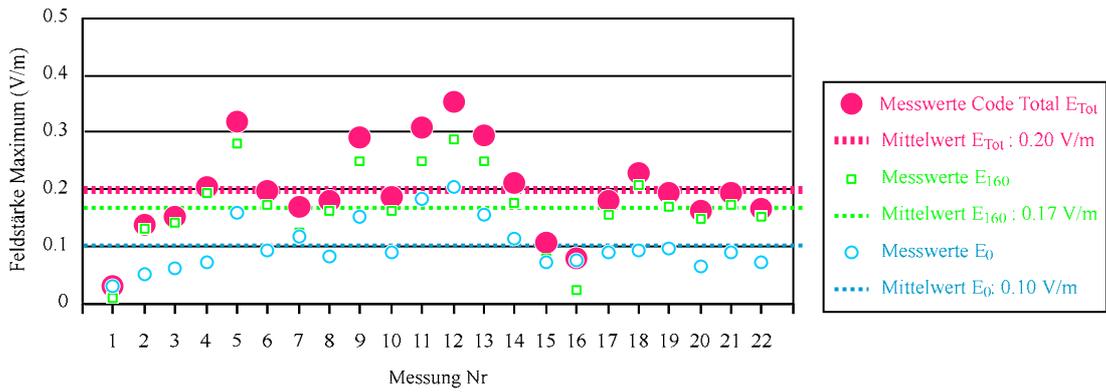


Fig.12 Alle Messwerte in Konfiguration 3

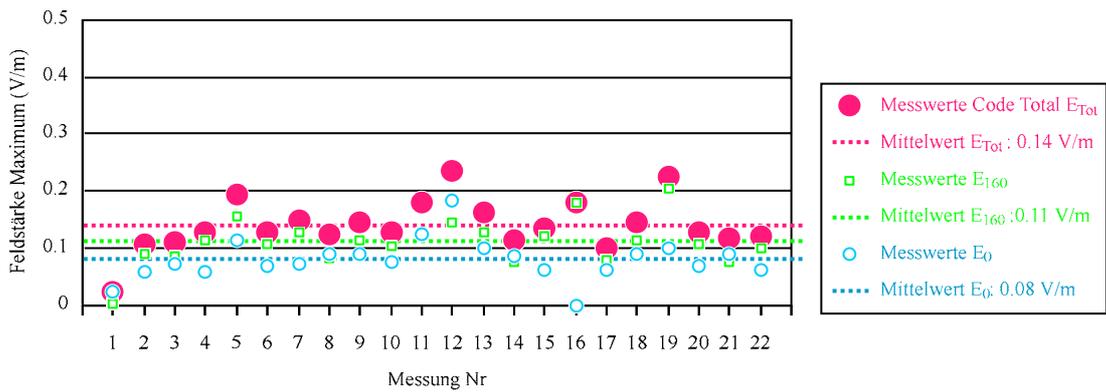


Fig.13 Alle Messwerte in Konfiguration 4

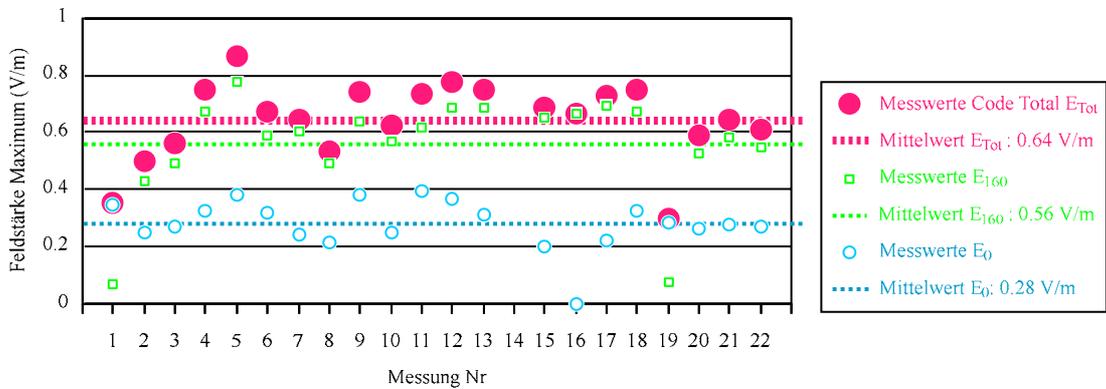


Fig.14 Alle Messwerte in Konfiguration 5

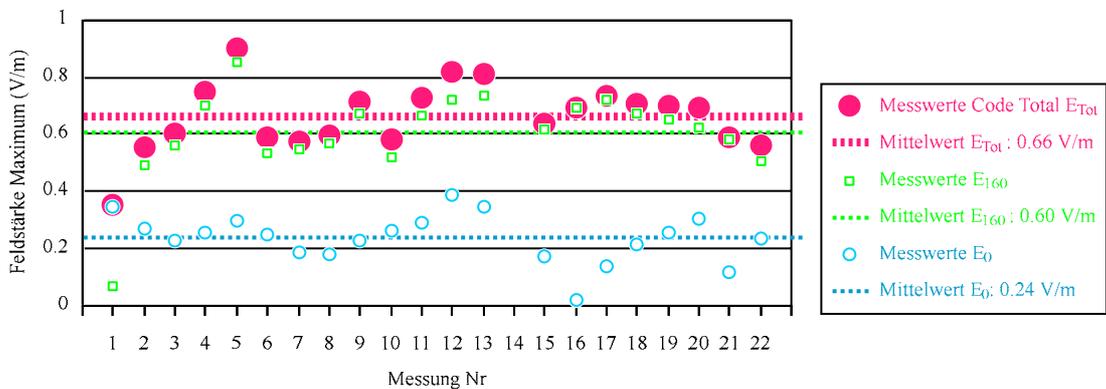


Fig.15 Alle Messwerte in Konfiguration 6

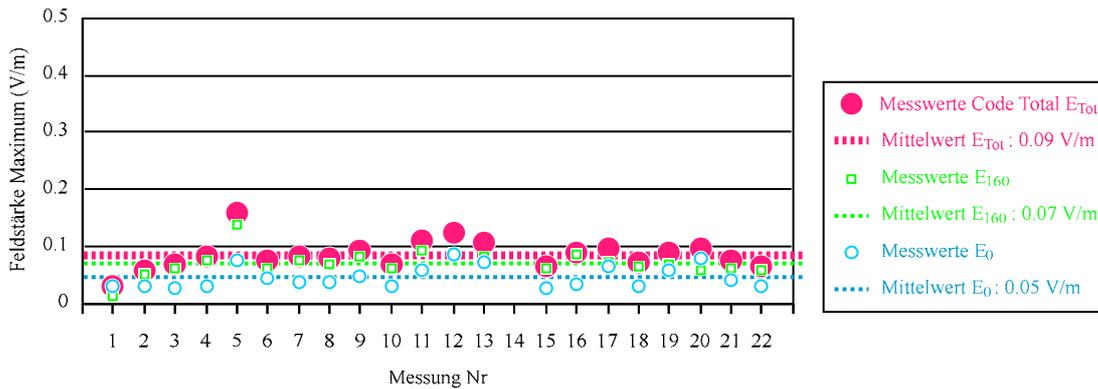


Fig.16 Alle Messwerte in Konfiguration 7

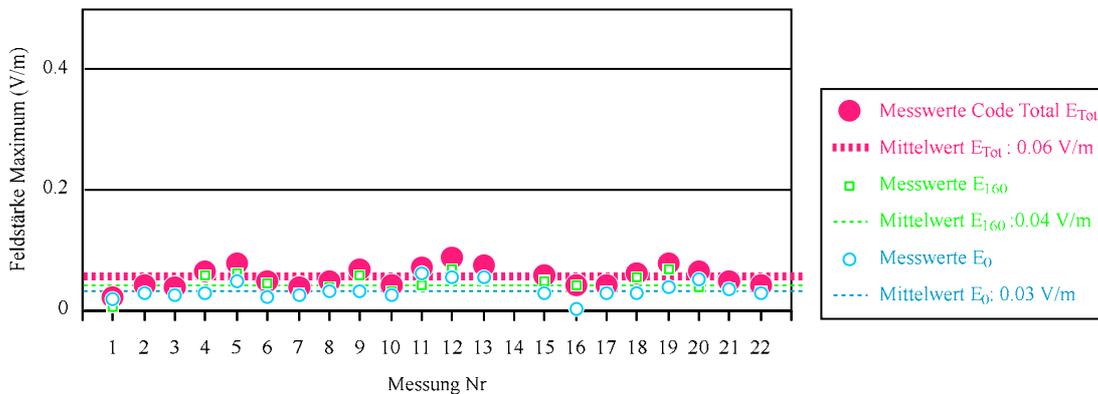


Fig.17 Alle Messwerte in Konfiguration 8

## 6.2 Bemerkungen zu den einzelnen Messungen

**Allgemeine Bemerkung zu Raum 1, ganzes Volumen** (Konfigurationen 1 und 5, Figuren 10 und 14): Die Messung in Raum 1 entspricht einer typischen Situation in der Praxis, wo der auf die massgebende Sendeleistung hochgerechnete Wert in der Grössenordnung des Anlagegrenzwertes liegt. Eine Schwierigkeit in Raum 1 war die korrekte Eingrenzung des Messvolumens. Insbesondere der Bereich über dem Fenstersims wurde durch die verschiedenen Messlabors unterschiedlich berücksichtigt.

**Allgemeine Bemerkung zu Raum 1, Teilvolumen** (Konfigurationen 2 und 6, Figuren 11 und 15): Das Maximum befand sich genau über dem hinteren Rand des am Boden bezeichneten Quadrats. Deshalb war es kritisch, das relativ kleine Volumen möglichst vollständig bis an seine Ränder abzutasten. Dabei gingen die einzelnen Labors unterschiedlich vor. Zum Teil wurde so abgetastet, dass die ganze Antenne innerhalb der Begrenzung des Teilvolumens blieb, zum Teil wurde das Antennenzentrum oder sogar die Antennenspitze bis zur Begrenzung hin bewegt. Je nachdem wurden für das Maximum unterschiedliche Werte gefunden.

**Allgemeine Bemerkung zu Raum 2** (Konfigurationen 3, 4, 7 und 8, Figuren 12, 13, 16 und 17): Die Messwerte in Raum 2 sind deutlich tiefer als diejenigen in Raum 1, weil die Feldstärke im Innern des Gebäudes stark abgeschwächt ist.

**Allgemeine Bemerkung zu Raum 2, ganzes Volumen** (Konfigurationen 3 und 7, Figuren 12 und 16): Die Resultate in Raum 2 streuen deutlich mehr als in Raum 1. Dabei ist aber zu beachten, dass die Feldstärke in Raum 2 tiefer lag und auch die hochgerechneten Werte weit unter dem Anlagegrenzwert von 6 V/m lagen. Ein Maximum lag hier im Bereich oberhalb des Treppengeländers. Je nachdem, wie diese Grenze in Bezug auf die Einhaltung des Mindestabstands von 50 cm interpretiert wurde, sind unterschiedliche Werte gemessen worden. Die Messempfehlung sollte eventuell für solche Fälle präzisere Angaben machen.

**Allgemeine Bemerkung zu Raum 2, Teilvolumen** (Konfigurationen 4 und 8, Figuren 13 und 17):

Der Ort des Teilvolumens war so gewählt worden, dass die beiden P-CPICH Signale ungefähr gleich stark waren. Auch hier liegen die hochgerechneten Werte weit unter dem Anlagengrenzwert von 6 V/m.

Das Vorgehen der Messpersonen bei der Maximumsuche und die für die Messung verwendete Zeit waren sehr unterschiedlich: 8 Messungen wurden mit weniger als 2 Minuten Messzeit durchgeführt, 8 Messungen mit ca. 3 Minuten Messzeit und 3 Messungen mit 5 bis 20 Minuten Messzeit. Eine klare Korrelation der gemessenen Feldstärke zur Messzeit ist aber nicht zu erkennen.

**Messung 1** (alle Konfigurationen):

Messung 1 wurde mit einem Gerät durchgeführt, das sehr langsam arbeitet und über keine Maxhold Anzeige verfügt. Das Messlabor hat versucht, die Position des Maximums mit frequenz-selektiver Messung zu eruieren und an der gefundenen Stelle code-selektiv das Maximum zu messen. Diese Methode funktioniert aber in der Praxis nicht, weil der Messwert der frequenz-selektiven Messung mit dem Verkehrsvolumen schwankt. Dadurch ist die Maximumsuche in komplexen Situationen sehr schwierig und das Maximum wurde bei dieser Vorgehensweise tatsächlich oft nicht gefunden. Dieses Gerät ist für code-selektive Messungen mit der Schwenkmethode nicht geeignet. Die Messung 1 wurde deshalb in der Schlussauswertung (Abschnitt 6.3) nicht berücksichtigt.

**Messungen 2 und 3** (alle Konfigurationen):

Die beiden für diese Messungen eingesetzten Messgeräte sind relativ langsam und können keine Mehrwegsignale verarbeiten. Die gemessenen Werte sind generell etwas tiefer als der Mittelwert, die Abweichungen sind aber nicht grösser als die Abweichungen, die bei anderen Labors auftreten.

**Messung 5** (alle Konfigurationen):

Die Resultate sind systematisch höher als der Mittelwert. Der Grund liegt in der festgestellten Kalibrationsabweichung von - 2.8 dB für das Messgerät, das bei dieser Messung zum Einsatz kam (vgl. Abschnitt 3).

**Messung 14:**

Messung 14 wurde aus Zeitgründen mit den Konfigurationen 5 bis 8 nicht mehr durchgeführt.

**Messungen 16, 17, 19, 21:**

In einigen Konfigurationen konnte einer der beiden Codes nicht synchronisiert werden. Viele der im Messvergleich verwendeten Messgeräte arbeiten zweistufig: In einer ersten Phase wird das Messgerät auf die vorhandenen Codes synchronisiert und anschliessend werden die erfassten Codes nacheinander gemessen. Falls während der Synchronisationsphase die Empfangsantenne an einer Position gehalten wird, an der das Signal des entsprechenden Codes sehr schwach ist, wird dieser Code bei der Messung gar nicht erfasst. Diese Erfahrung zeigt, dass in dieser Phase der Messung darauf geachtet werden muss, dass alle P-CPICH erfasst werden, die zum Messergebnis beitragen können.

In den Konfigurationen, wo einer der beiden Codes die Gesamtfeldstärke dominiert, ist der so entstehende Fehler im Schlussresultat nicht stark sichtbar. Trotzdem sollte bei der Messung darauf geachtet werden, dass alle Codes der zu messenden Anlage in die Messung eingehen. Einzelmessungen, bei denen einer der vorhandenen Codes nicht erfasst worden war, werden bei der Schlussauswertung (Abschnitt 6.3) nicht berücksichtigt.

**Messungen 8, 9, 10, 11, 12, 13**

Diese Messungen wurden mit einem Gerät mit isotroper Sonde durchgeführt. Die Resultate unterscheiden sich nicht systematisch von denjenigen unter Verwendung anderer Messsonden.

**Messung 11**

Bei Messung 11 in Konfiguration 1 wurden die Grenzen des Messvolumens voll ausgenützt (z.B. Fensterahmen), was möglicherweise zu den erhöhten Messwerten geführt hat.

**Messungen 12, 13**

Bei den Messungen 12 und 13 wurde das Maximum äusserst gewissenhaft gesucht, was für jede Konfiguration eine Messdauer von ca. 20 Minuten erforderte. Die Resultate sind bei allen Konfigurationen systematisch höher als der Mittelwert. Dies bestätigt, wie wichtig ein langsames und systematisches Vorgehen bei der Maximumsuche ist.

### 6.3 Bereinigung der Messresultate

Zum grössten Teil waren die eingesetzten Messeinrichtungen für code-selektive Messungen mit der Schwenkmethode geeignet und die Messlabors gingen bei den Messungen sachgerecht vor. Trotzdem wurden gewisse Unzulänglichkeiten erkannt, die zu systematischen Abweichungen führten. Damit wurde ein wichtiges Ziel dieser Messkampagne erreicht: Schwachstellen zu identifizieren und Hinweise zu erhalten, wie die Messempfehlung präzisiert werden muss.

Bei Beachtung der gewonnenen Erkenntnisse lassen sich einige dieser Abweichungen künftig mit Sicherheit vermeiden. Für die abschliessende Auswertung, welche Aufschluss über die Methodenstreuung bei korrekter Durchführung geben soll, beschränken wir uns daher auf diejenigen Ergebnisse, die frei von solchen systematischen Fehlern sind. Zu diesem Zweck wurden die Messergebnisse wie folgt bereinigt:

- Alle Messungen des Labors 1 wurden verworfen, weil das Messgerät sehr langsam anspricht und über keine Maxhold-Anzeige verfügt. Dieses Gerät ist für die Maximumsuche mit der Schwenkmethode ungeeignet.
- Alle Einzelmessungen, bei denen einer der beiden Codes nicht erfasst wurde, wurden verworfen. Die Synchronisation auf alle vorhandenen Codes kann bei aufmerksamem Arbeiten erzwungen werden.
- Die Ergebnisse von Messlabor 5 wurden um die im Labor bestimmte Kalibrierabweichung von - 2.8 dB korrigiert. Diese Korrektur wurde bei diesem Messgerät - und nur bei diesem - vorgenommen, weil es das einzige war, das nicht bereits von früher her über diese Zusatzkalibrierung verfügte.

Die bereinigten Resultate sind in den Figuren 18 bis 25 dargestellt.

### 6.4 Ermittlung der Messunsicherheit

Die Messunsicherheit lässt sich gemäss [3] grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten ermitteln:

- Methode A, wenn eine ausreichend grosse und repräsentative Stichprobe von unabhängigen Messungen für dieselbe Situation vorliegt. Die Standardunsicherheit entspricht in diesem Fall der (experimentell bestimmten) Standardabweichung aller Messwerte.
- Methode B, wenn nur eine oder wenige Messungen für dieselbe Situation vorliegen. Die Standardunsicherheit wird in diesem Fall ausgehend von den Spezifikationen und Kalibrierzertifikaten der Messeinrichtung und einer geschätzten Unsicherheit für die Probenahme prognostiziert. Dieses Verfahren kommt bei Abnahmemessungen gemäss dem Entwurf der Messempfehlung [1] zum Einsatz und ist dort im Detail beschrieben.

Im ersten Schritt wird bei beiden Methoden die Standardunsicherheit  $u$  bestimmt. Daraus wird anschliessend die erweiterte Unsicherheit  $U$  durch Multiplikation mit dem Faktor 2 berechnet. Beträgt der Wert einer Einzelmessung  $m$ , dann liegt der wahre Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% im Intervall  $m \pm U$ .

Methode B kann immer angewendet werden. In der vorliegenden Messkampagne liegen genügend viele unabhängige Einzelmessungen für dieselbe Situation vor, so dass auch eine Bestimmung der Messunsicherheit nach Methode A möglich ist. Die so bestimmte Unsicherheit schliesst sowohl die Unsicherheiten der Messeinrichtung als auch der Probenahme ein und kann zur Validierung der Berechnung nach Methode B, insbesondere der pauschalen Unsicherheit der Probenahme verwendet werden.

In den Figuren 18 bis 25 sind der jeweilige, aus allen Einzelwerten berechnete Mittelwert, und die Standardabweichung in der Legende angegeben.

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der experimentellen Unsicherheitsbestimmung (Methode A) zusammengestellt.

Konfiguration	Raum	Mittelwert	Standard	Standard	Erweiterte
			Messunsicherheit	Messunsicherheit	Messunsicherheit
			$u$	$u$	$U$
		(V/m)	(V/m)	(%)	(%)
1	1	1.76	0.23	13	26
2	1	1.67	0.25	15	30
3	2	0.213	0.058	27	54
4	2	0.141	0.036	25.5	51
5	1	0.661	0.084	12.5	25
6	1	0.663	0.083	12.5	25
7	2	0.086	0.018	21	42
8	2	0.057	0.015	26.5	53

Tabelle 3: Messunsicherheit nach Methode A.

Als Grundlage für die Bestimmung der Messunsicherheit gemäss Methode B dienen die Angaben der Labors über die Standard-Unsicherheit ihrer jeweiligen Messeinrichtung. Wo eine solche fehlt, wurde sie von METAS geschätzt. Als Standardunsicherheit für die Probenahme wird gemäss Entwurf der UMTS-Messempfehlung [1] ein konstanter Wert von 15 % eingesetzt. Die entsprechenden Angaben finden sich in Tabelle 4.

Messung Nr	Quelle	Standard	Standard	Standard	Standard	Erweiterte
		Unsicherheit der Messeinrichtung	Unsicherheit der Probenahme	Unsicherheit der Driftkorrektur	Messunsicherheit Total	Messunsicherheit Total
		(%)	(%)	(%)	$u$	$U$
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
2	Angabe Labor	12.8	15	0.4	19.7	39.4
3	Geschätzt	13.2	15	0.6	20.0	40.0
4	Angabe Labor	15.3	15	0.6	21.5	42.9
5	Angabe Labor	9.0	15	0.8	17.5	35.0
6	Angabe Labor	11.3	15	0.1	18.8	37.5
7	Angabe Labor	10.7	15	0.7	18.5	36.9
8	Angabe Labor	15.3	15	0.4	21.5	42.9
9	Angabe Labor	15.3	15	0.3	21.5	42.9
10	Angabe Labor	15.3	15	0.3	21.5	42.9
11	Angabe Labor	15.3	15	0.3	21.5	42.9
12	Angabe Labor	15.3	15	0.7	21.5	42.9
13	Angabe Labor	15.3	15	0.7	21.5	42.9
14	Geschätzt	13.2	15	0.7	20.0	40.0
15	Angabe Labor	12.8	15	0.2	19.8	39.5
16	Angabe Labor	12.8	15	0.6	19.8	39.5
17	Angabe Labor	12.8	15	0.1	19.8	39.5
18	Angabe Labor	6.8	15	0.8	16.5	32.9
19	Angabe Labor	11.5	15	1.2	18.9	37.9
20	Geschätzt	13.2	15	1.0	20.0	40.1
21	Angabe Labor	14.3	15	0.2	20.7	41.4
22	Angabe Labor	11.9	15	1.0	19.2	38.4

Tabelle 4: Berechnung der Messunsicherheit nach Methode B

Die resultierende erweiterte Messunsicherheit ist in den Figuren 18 bis 25 für jeden einzelnen Messwert in Form eines Unsicherheitsbalkens dargestellt.

Von Interesse ist nun der Vergleich dieser experimentell bestimmten (Methode A, Tabelle 3) mit der prognostizierten Messunsicherheit (Methode B, Tabelle 4). Im Idealfall sollten die Ergebnisse beider Verfahren übereinstimmen. Ist die Messunsicherheit nach Methode A kleiner als diejenige nach Methode B, dann sind offenbar gewisse Annahmen in der Berechnung nach Methode B zu pessimistisch. Im umgekehrten Fall muss man davon ausgehen, dass bei der Berechnung nach Methode B gewisse Einflüsse unterschätzt oder gar nicht erkannt wurden.

Die Analyse von Tabelle 3 und der Vergleich mit Tabelle 4 lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Die experimentell bestimmte erweiterte Messunsicherheit (Methode A, Tabelle 3) beträgt je nach Konfiguration 25 bis 54 % des Messwertes.
- Die prognostizierte erweiterte Messunsicherheit unter Einschluss der Unsicherheit der Probenahme (Typ B, Tabelle 3) liegt je nach Labor zwischen 33 % und 43 %.
- Bei den Messungen in Raum 1 beträgt die experimentell bestimmte Messunsicherheit (Tabelle 3) generell  $\leq 30\%$  und liegt damit deutlich unter den gemäss Tabelle 4 prognostizierten Werten und noch deutlicher unter der im Entwurf der Messempfehlung [1] gestellten Anforderung von maximal 45 %. Raum 1 zeichnet sich dadurch aus, dass er Direktsicht auf die Antennen hatte, und dass die zu messenden Signale vergleichsweise stark waren. Er ist somit repräsentativ für einen Ort, an dem der Anlagegrenzwert überschritten sein kann und dies durch eine Abnahmemessung festgestellt werden soll. Wie die Analyse zeigt, liefert die code-selektive Messung in solchen Situationen ein Ergebnis, das mit kleinerer Unsicherheit behaftet ist als die 45%, die gemäss Entwurf der Messempfehlung [1] zulässig sind. Es wird vermutet, dass die tatsächliche Unsicherheit der Probenahme hier kleiner als der empfohlene pauschale Wert von 15 % (Standardunsicherheit) ist.
- Bei den Messungen in Raum 2 liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt. Die experimentell bestimmte Messunsicherheit (Tabelle 3) liegt mehrheitlich über den prognostizierten Werten und erfüllt in drei von vier Konfigurationen die im Entwurf der Messempfehlung [1] gestellte Anforderung nicht. Raum 2 hatte keine Direktsicht zu den Antennen und es ist davon auszugehen, dass die Feldverteilung infolge von reflektierten Signalen komplex war. Ausserdem waren die zu messenden Pegel sehr niedrig. Raum 2 steht somit stellvertretend für einen Messort, an dem zwar in seltenen Fällen eine Abnahmemessung durchzuführen ist, der jedoch so schwach belastet ist, dass selbst nach Hochrechnung auf den massgebenden Betriebszustand der Anlagegrenzwert weit unterschritten bleibt. In diesen Situationen kann man die etwas grössere Messunsicherheit in Kauf nehmen, da dadurch die Schlussergebnisse - Anlagegrenzwert eingehalten oder überschritten - nicht tangiert wird. Ob die höhere Messunsicherheit eher auf die Probenahme oder auf eine für schwache Signale unterschätzte Unsicherheit der Messeinrichtung, oder auf beides zurückzuführen ist, kann aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht entschieden werden. Eine detaillierte Klärung wird auch nicht als nötig erachtet.

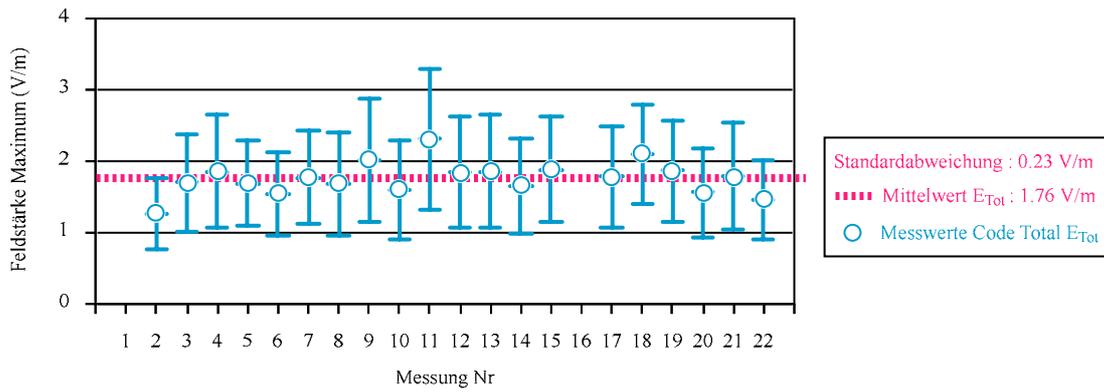


Fig. 18 Konfiguration 1: bereinigte Messwerte mit erweiterter Messunsicherheit

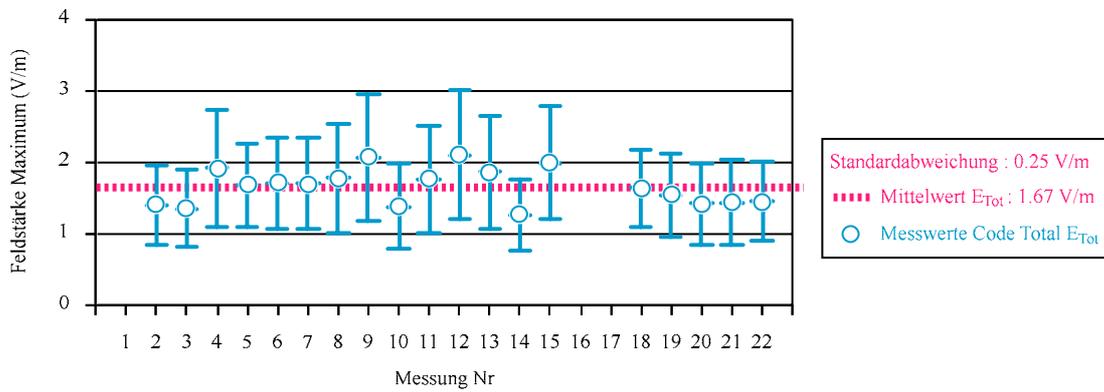


Fig. 19 Konfiguration 2: bereinigte Messwerte mit erweiterter Messunsicherheit

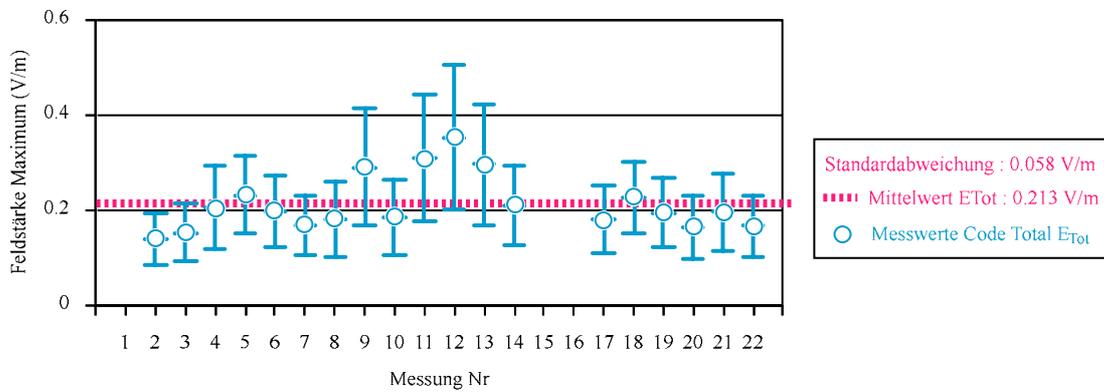


Fig. 20 Konfiguration 3: bereinigte Messwerte mit erweiterter Messunsicherheit

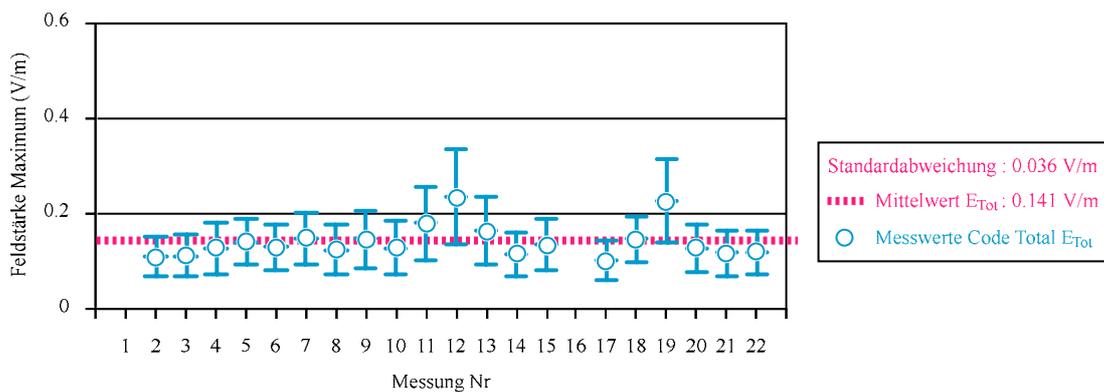


Fig. 21 Konfiguration 4: bereinigte Messwerte mit erweiterter Messunsicherheit

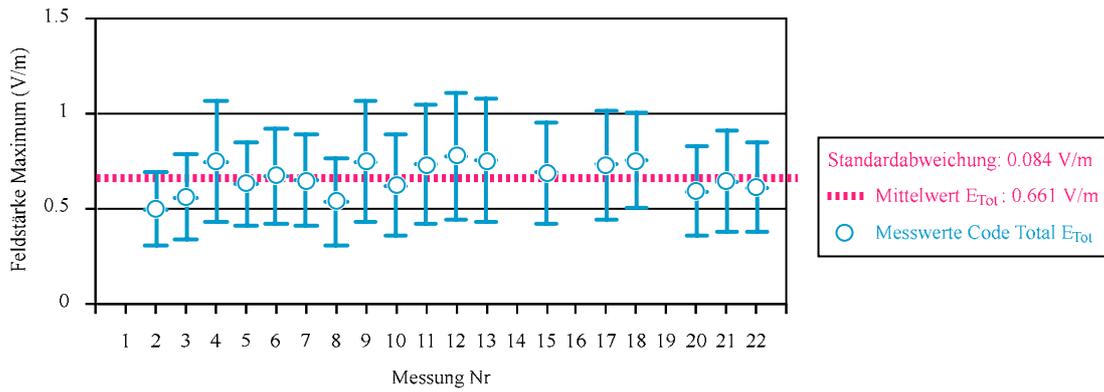


Fig. 22 Konfiguration 5: bereinigte Messwerte mit erweiterter Messunsicherheit

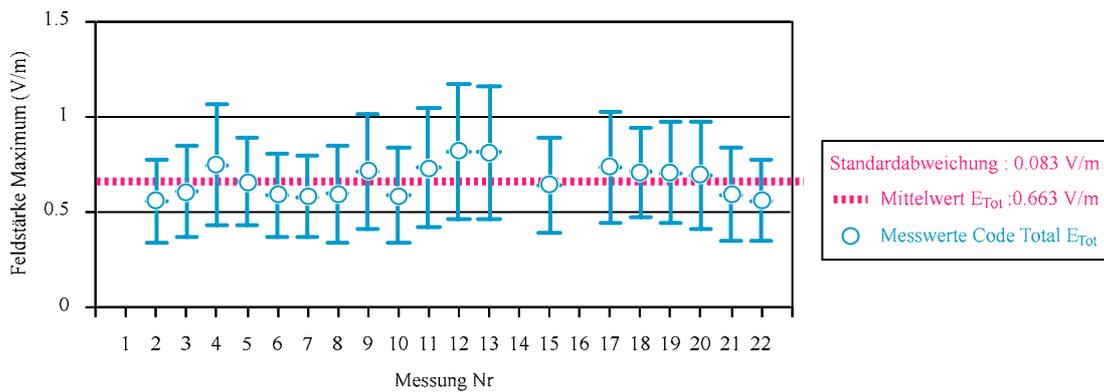


Fig. 23 Konfiguration 6: bereinigte Messwerte mit erweiterter Messunsicherheit

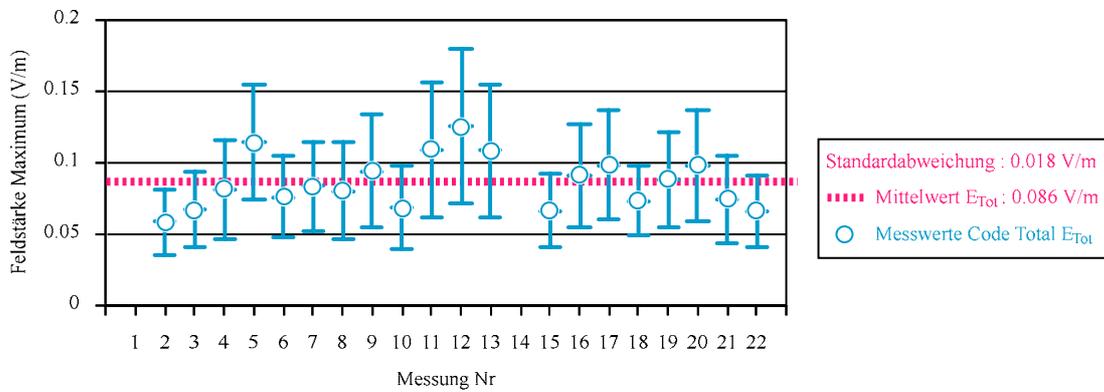


Fig. 24 Konfiguration 7: bereinigte Messwerte mit erweiterter Messunsicherheit

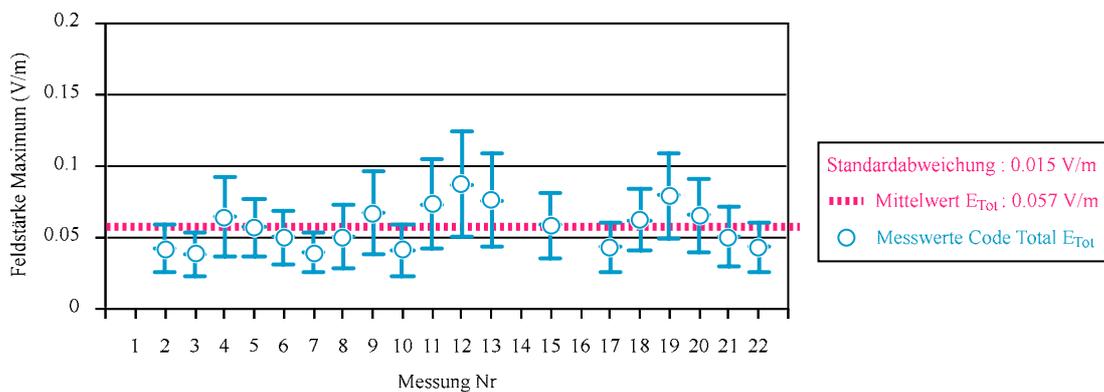


Fig. 25 Konfiguration 8: bereinigte Messwerte mit erweiterter Messunsicherheit

## 6.5 Beurteilungswert

Für den Vergleich mit dem Anlagegrenzwert ist nicht der Messwert, sondern der Beurteilungswert massgebend. Dieser wird durch Hochrechnung aus den Messwerten abgeleitet. Als Beispiel wurde hier ein Hochrechnungsfaktor von 3.16 angenommen. Dies entspricht einer Anlage, deren Leistung bei maximaler Auslastung 10 mal höher ist als die P-CPICH Leistung. In der Praxis gilt der Hochrechnungsfaktor, der sich aus dem Standortdatenblatt ergibt. In den Figuren 26 und 27 sind die Beurteilungswerte exemplarisch für zwei der acht gemessenen Konfigurationen dargestellt.

Bei Konfiguration 2 (Figur 26) liegt der Beurteilungswert, als Mittelwert aller 19 Einzelmessungen, bei 87 % des Anlagegrenzwerts und ist somit eingehalten. Die Messunsicherheit bringt es jedoch mit sich, dass einige der Einzelmessungen eine Überschreitung des Anlagegrenzwertes anzeigen. Bei Konfiguration 4 liegt der Beurteilungswert hingegen so weit unter dem Anlagegrenzwert, dass die Messunsicherheit praktisch keine Rolle mehr spielt.

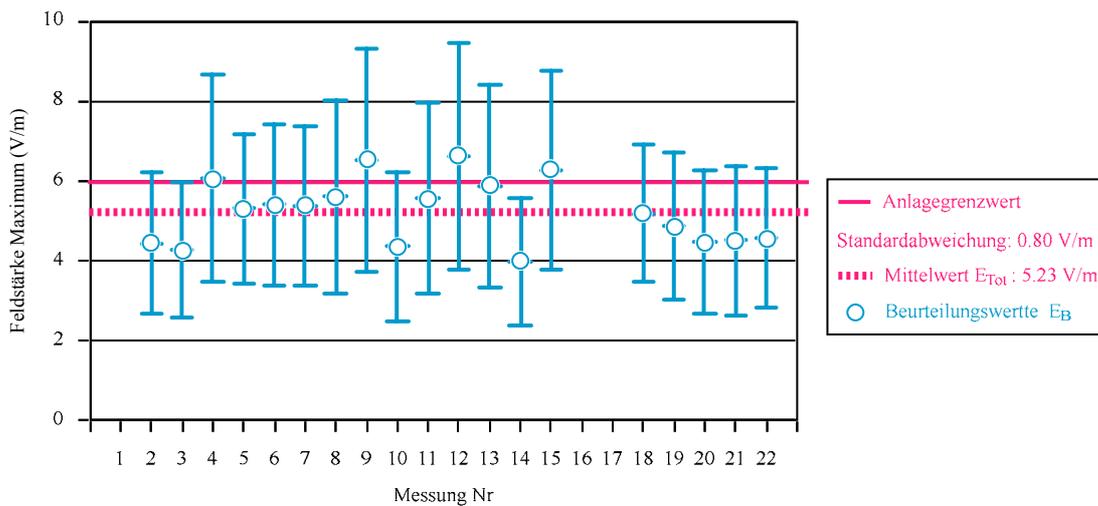


Fig. 26: Konfiguration 2: Beurteilungswerte mit erweiterter Messunsicherheit (Raum 1, Teilvolumen, ohne Verkehr)

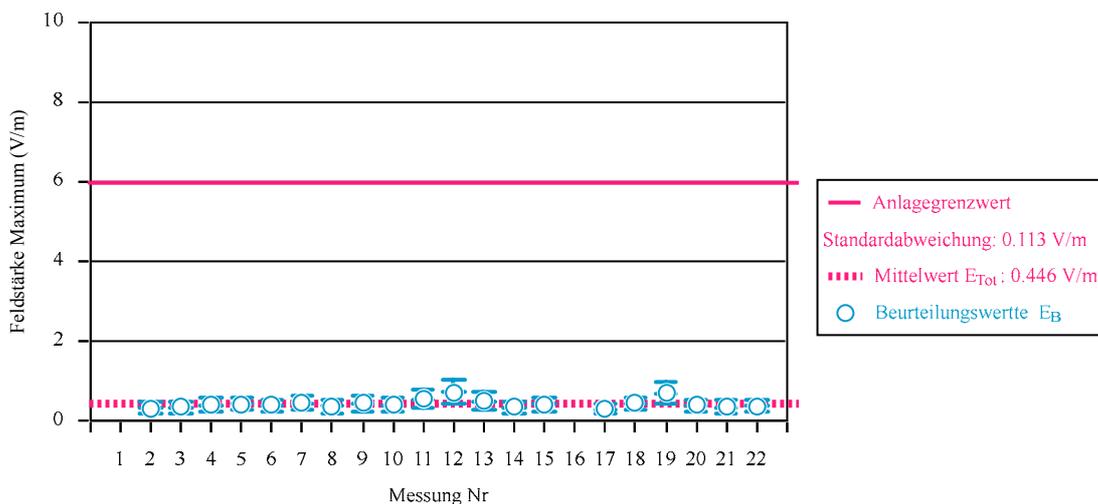


Fig. 27: Konfiguration 4: Beurteilungswerte mit erweiterter Messunsicherheit (Raum 2, Teilvolumen, ohne Verkehr)

## 7 Schlussfolgerungen

### Erkenntnisse zur Messunsicherheit

Die experimentell bestimmte erweiterte Messunsicherheit (Methode A) war in Raum 1 zwischen 25 % und 30 %. Raum 1 entspricht einer typischen Situation, in der der Anlagegrenzwert erreicht oder überschritten werden könnte. In Raum 2, der einer typischen Situation im Innern eines Gebäudes mit schwachen Feldern und komplizierten Ausbreitungsverhältnissen entspricht, war die erweiterte Messunsicherheit zwischen 42 % und 54 %.

Die im Entwurf der Messempfehlung [1] vorgeschlagene maximal zulässige erweiterte Unsicherheit von 45% und die als Pauschalbeitrag einzubeziehende Standardunsicherheit der Probenahme von 15% erscheinen für die Praxis als sachgerecht und in denjenigen Anwendungsfällen, wo der Anlagegrenzwert überschritten sein könnte, ohne weiteres erreichbar.

Das im Entwurf der Messempfehlung [1] beschriebene code-selektive Messverfahren ist geeignet, um UMTS-Strahlung an Orten mit empfindlicher Nutzung zu messen und die Einhaltung oder Überschreitung des Anlagegrenzwertes festzustellen.

### Empfehlung für Präzisierungen in der Messempfehlung:

Messinstrumente ohne Maxholdanzeige sind ungeeignet und können nicht empfohlen werden. Messgeräte mit Reaktionszeiten > 250 ms verlangen ein besonders sorgfältiges Vorgehen und entsprechend lange Messzeiten bei der Maximumsuche. Kurze Reaktionszeiten des Messgeräts und eine optische und akustische Anzeige des Maximums erleichtern die Maximumsuche und sind zu empfehlen.

Die Messgeräte sollen gemäss dem in Abschnitt 4 beschriebenen Verfahren für die code-selektive Messung mit Maximumanzeige kalibriert sein. Die Überprüfung der Kalibration der Messgeräte ergab gegenüber der erstmaligen, ca. ein Jahr zurückliegenden Kalibration Abweichungen von weniger als 1 dB. Messgeräte, die nicht nach diesem Verfahren kalibriert sind, können nach früheren Erfahrungen Abweichungen von - 3 dB bis + 2 dB aufweisen.

Zwischen den Messungen mit logperiodischer, bikonischer und isotroper Sonde sind keine signifikanten Unterschiede feststellbar. Isotrope Sonden können ebenfalls zur Anwendung empfohlen werden.

Bei Messungen mit kleineren Pegeln muss darauf geachtet werden dass alle für das Resultat massgebenden Codes erfasst werden. Empfehlung: manuelle Voreinstellung aller zu messenden Codes.

Die Unsicherheit der Probenahme könnte vermutlich verringert werden, wenn das Vorgehen zur Maximumsuche und das abzusuchende Volumen präziser beschrieben würden. Die Grenze des Messvolumens im Bereich des offenen Fensters sollte in der Messempfehlung genau definiert werden. Dies ist ein Fall der in der Praxis sehr oft vorkommt und bei dem die Probenahme auf das Resultat einen grossen Einfluss haben kann.

## 8 Literatur

- [1] BUWAL und METAS: Mobilfunk-Basisstationen (UMTS - FDD). Messempfehlung. Entwurf vom 17.9.2003 (<http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog> >Publikationen >4.NISV: Vollzugshilfen)
- [2] METAS: UMTS FDD power measurements: Improved power estimator and measurement equipment validation, METAS-Bericht Nr. 2006-218-600, 2006
- [3] International Organization for Standardization: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. 1<sup>st</sup> edition 1993