



Elektromagnetische Felder in NRW

**Untersuchung der Immissionen
durch Mobilfunk-Basisstationen**

**„Feldmessungen im Umfeld von
UMTS-Mobilfunksendeanlagen“**

**erstellt für das
Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen**

07. März 2005

Projektleitung beim Auftragnehmer

Dr. Christian Bornkessel
Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST) GmbH
Abteilung Antennen & EMVU
Carl-Friedrich-Gauß-Straße 2
47475 Kamp-Lintfort
Tel: 02842/981-383
Fax: 02842/981-399
E-Mail: bornkessel@imst.de

Prof. Dr. Matthias Wuschek
EM-Institut GmbH
Carlstraße 5
93049 Regensburg
Tel.: 0941/298365-0
Fax: 0941/298365-2
E-Mail: info@em-institut.de

Autoren

Dr. Christian Bornkessel, IMST GmbH
Dr. Matthias Wuschek, EM-Institut GmbH
Michael Neikes, IMST GmbH
Annette Schramm, IMST GmbH
Markus Schubert, IMST GmbH
Peter Schmidt, EM-Institut GmbH

Projektleitung beim Auftraggeber

Dr. Elke Stöcker-Meier
Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Schwannstraße 3
40476 Düsseldorf
Tel: 0211/4566-710
Fax: 0211/4566-388
E-Mail: elke.stoecker-meier@munlv.nrw.de

Kurzfassung

Vorliegender Bericht dokumentiert die Ergebnisse von Feldmessungen im Umfeld von UMTS-Mobilfunksendeanlagen. Die Messpunkte wurden identisch zu denen einer Vorläuferstudie vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW) des Jahres 2002 ausgewählt [BOR 02-3].

Da seit Anfang 2004 insbesondere in den Ballungsräumen NRWs die neue Mobilfunkgeneration UMTS in Betrieb ist und die Immissionen dieser Anlagen bei der 2002er Studie nicht oder nur am Rande erfasst wurden, sollen mit vorliegendem Projekt Aussagen über das tatsächliche Immissionsverhalten von UMTS-Anlagen und Veränderungen gegenüber dem GSM-System gewonnen werden.

Die Messungen zeigen, dass die Immissionssituation bezüglich Mobilfunk an vielen Messpunkten gegenüber 2002 nahezu unverändert geblieben ist. An denjenigen Messpunkten, an denen Unterschiede ermittelt wurden, können diese teilweise auf bauliche Veränderungen seitens der Anlage bzw. des gesamten Standortes zurückgeführt werden.

Bezüglich Mobilfunk ist der am höchsten exponierte Messpunkt KR 2.5. Hier beträgt die Immission beim aktuellen Ausbauzustand $0,096 \text{ W/m}^2$ (entsprechend $6,0 \text{ V/m}$ bzw. $11,0 \%$ feldstärkebezogene Grenzwertauslastung). Im maximalen Ausbauzustand ist die Immission $0,19 \text{ W/m}^2$ (entsprechend $8,5 \text{ V/m}$ bzw. $15,6 \%$ Grenzwertauslastung). Abweichend hiervon wurde die *höchste Grenzwertausschöpfung* im aktuellen Anlagezustand am MP AC 2.3 gefunden; sie beträgt hier $11,5 \%$.

Der niedrigste Messwert wurde am Messpunkt AC 1.3 ermittelt. Hier beträgt die Immission beim aktuellen Ausbauzustand $0,00024 \text{ W/m}^2$ (entsprechend $0,3 \text{ V/m}$ bzw. $0,7 \%$ feldstärkebezogener Grenzwertauslastung). Im maximalen Ausbauzustand ist die Immission $0,00053 \text{ W/m}^2$ (entsprechend $0,5 \text{ V/m}$ bzw. $1,1 \%$ Grenzwertauslastung).

Die über alle Messpunkte gemittelte Immission beträgt bei aktuellem Ausbauzustand $0,014 \text{ W/m}^2$ (entsprechend $2,3 \text{ V/m}$ bzw. $4,8 \%$ feldstärkebezogene Grenzwertauslastung) und bei maximalem Ausbauzustand $0,023 \text{ W/m}^2$ (entsprechend $2,9 \text{ V/m}$ bzw. $6,1 \%$ Grenzwertauslastung).

Das neu hinzugekommene UMTS-Mobilfunksystem trägt zwar insgesamt zu einer Veränderung der Immissionssituation bei. Allerdings spielen offensichtlich an den Messpunkten die Immissionen durch UMTS-Anlagen im Vergleich zu den GSM-Immissionen derzeit eine untergeordnete Rolle. An nur einem Messpunkt waren die UMTS-Immissionen größer als die GSM-Immissionen. Hierbei lag eine Konfiguration vor, bei der sich der Messpunkt direkt in Hauptstrahlrichtung der UMTS-Antenne, aber nur am Rande der Hauptstrahlrichtung der GSM-Antenne befand. Eine systematische Auswertung der Ergebnisse mit einem „Blick in die Zukunft“ auf Basis der Annahme, dass im Mittel an jedem GSM-Standort auch eine UMTS-Anlage errichtet werden wird, zeigt, dass auch unter diesen Annahmen und unter Berücksichtigung des geplanten zweiten Frequenzkanals bei UMTS im Mittel nicht mit einer Dominanz der UMTS-Immissionen im Vergleich zu den GSM-Immissionen gerechnet werden muss. Berücksichtigt werden muss jedoch, dass die Anzahl der im Rahmen der Messun-

gen erfassten Messpunkte in der Umgebung von gemeinsam genutzten GSM- und UMTS-Anlagen für statistisch belastbare Aussagen sehr gering war.

Bei den Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass der Anteil der durch die Signalisierung verursachten „Grundimmission“ (in der Regel nachts bei geringer Verkehrslast der Anlage erreicht) an der maximal möglichen Immission einer UMTS-Anlage geringer ist als bei einer GSM-Anlage. Dies ist durch das geringere Verhältnis der Leistungen der Signalisierungskanäle an der Gesamtleistung bei UMTS im Vergleich zu GSM begründet.

Zusätzlich zu Mobilfunk wurden auch Immissionen durch andere hochfrequente Sendeanlagen wie analoger und digitaler Hörfunk, analoges und digitales Fernsehen sowie DECT-Schnurlostelefone erfasst. Hier ist festzustellen, dass an den Messpunkten fast immer Mobilfunk die Gesamtimmission dominiert. Lediglich an zwei von 24 Messpunkten tragen die Immissionen durch Hörfunk- und Fernsehsender bezüglich der Grenzwertausschöpfung mehr zur Gesamtimmission bei als der Mobilfunk. Diese Aussage darf allerdings nicht verallgemeinert werden, da die Messpunkte speziell bezüglich ihrer unmittelbaren Nähe zu Mobilfunkanlagen, nicht aber bezüglich der Nähe zu Rundfunk- und Fernsehsendern ausgewählt wurden.

An allen Messpunkten werden bezüglich der hochfrequenten Gesamtimmission die Grenzwerte der 26. BImSchV eingehalten. Aufgrund der Dominanz der Mobilfunk-Immissionen an den Messpunkten ändern sich die für Mobilfunk dokumentierten Angaben bezüglich Maximalwert, Minimalwert und durchschnittliche Immission für die Gesamtimmission nicht.

Auch der Vergleich der Gesamtimmission an ausgewählten Messpunkten zu 2002 zeigt an vielen Punkten keine relevante Veränderung. An Orten, an denen eine Veränderung festgestellt werden konnte, war diese zum Großteil auf die Veränderungen bezüglich der Mobilfunkimmissionen zurückzuführen.

Zwei Langzeitmessungen, die frequenzselektiv über 24 Stunden und breitbandig über 7 Tage durchgeführt wurden, zeigen eine tageszeitliche bzw. auslastungsabhängige Schwankung der Immissionen auf. Diese ist hauptsächlich durch das GSM-System dominiert; bei UMTS ist derzeit aufgrund der geringen Netzauslastung die anlagenseitige Schwankung der Immissionen gering.

Im Rahmen einer systematischen Auswertung der Messergebnisse wurden folgende Einflussfaktoren für die Größe der Immission untersucht:

- radialer Abstand des Messpunktes von der Sendeanlage,
- Vertikalwinkel, mit dem man vom Messpunkt aus die Sendeanlage sieht und
- Sichtbedingungen zwischen Messpunkt und Sendeanlage.

Dabei hat sich herausgestellt, dass der *Abstand* im unmittelbaren Umfeld der Anlage (bis ca. 200 m, abhängig von Montagehöhe und Downtilt) zur zuverlässigen Abschätzung der Immission offenbar wenig geeignet ist. Grund dafür ist, dass in diesem Entfernungsbereich die Immission sehr stark durch die Nebenzipfel und Einzüge des Antennendiagramms geprägt ist und einen stark unregelmäßigen Charakter aufweist.

Einen deutlichen Einfluss hingegen haben Vertikalwinkel und Sichtverhältnisse.

Der Vertikalwinkel kennzeichnet dabei die Lage des Messpunktes bezüglich der Hauptstrahlrichtung. Da diese aufgrund der starken Strahlbündelung der Antenne relativ scharf von umliegenden, immissionsschwächeren Bereichen abgegrenzt ist, können wenige Grad Unterschied im Vertikalwinkel Immissionsveränderungen von einigen dB ausmachen.

Objekte wie Gebäude, aber auch Bäume und Sträucher zwischen Messpunkt und Sendeanlage haben einen dämpfenden Einfluss, der sich deutlich in den Messergebnissen widerspiegelt. Die Immissionsreduzierung, die der Messpunkt erfährt, ist dabei abhängig von der Dämpfungswirkung des Objektes, aber auch von der Frage, inwieweit die Signale der Basisstation auch über Reflexionen z.B. an benachbarten Gebäuden zum Messpunkt gelangen können.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	3
1 Einleitung	8
1.1 Hintergrund des Projektes.....	8
1.2 Aufgabenstellung	8
2 Auswahl der Messpunkte	9
3 Eingesetzte Messverfahren.....	11
3.1 Prinzipielles Messverfahren.....	11
3.2 Immissionsmessungen bei GSM-Basisstationen	13
3.3 Immissionsmessungen bei UMTS-Basisstationen.....	14
3.4 Sonstige hochfrequente Funksendeanlagen	16
3.5 Nachweisgrenzen.....	17
3.6 Langzeitmessungen.....	17
3.6.1 <i>Breitbandmessung</i>	18
3.6.2 <i>Frequenzselektive Messung</i>	19
3.6.3 <i>Grenzen der Aussagekraft von Langzeitimmissionsmessungen</i>	20
4 Grenzwerte.....	21
5 Ergebnisse	22
5.1 Mobilfunk	22
5.1.1 <i>Gesamtergebnisse Mobilfunk und Schwankungsbreite</i>	22
5.1.2 <i>Vergleich zu den Ergebnissen aus 2002</i>	27
5.1.3 <i>Gegenüberstellung GSM und UMTS</i>	34
5.1.3.1 Derzeitige Immissionssituation	34
5.1.3.2 Systematischer Vergleich zwischen GSM und UMTS-Immissionen.....	38
5.2 Sonstige hochfrequente Funkanlagen.....	43
5.3 Gesamtmission.....	45
5.3.1 <i>Ergebnisse der Messungen der Gesamtmission</i>	45
5.3.2 <i>Vergleich zu den Ergebnissen aus 2002</i>	56
5.4 Langzeitmessungen.....	59
5.4.1 <i>Frequenzselektive 24-Stunden-Messung</i>	59

5.4.2	<i>Breitbandige 7-Tage-Messung</i>	62
5.5	Systematische Untersuchung von Einflussfaktoren	64
5.5.1	<i>Radialer Abstand des Messpunktes zur Sendeanlage</i>	66
5.5.2	<i>Vertikalwinkel</i>	67
5.5.3	<i>Sichtverhältnisse</i>	69
5.5.4	<i>Fazit</i>	70
	Danksagung	71
	Literaturverzeichnis	72
	Abkürzungsverzeichnis	73
	Verzeichnis häufig verwendeter Symbole	73

1 Einleitung

1.1 Hintergrund des Projektes

Das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV) hat im Jahr 2002 eine umfangreiche Mobilfunkstudie durchgeführt, in der die elektromagnetischen Felder von Mobilfunksendeanlagen systematisch sowohl messtechnisch, als auch rechentechnisch untersucht wurden. Auftragnehmer dieser Studie war das Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST) GmbH. Die Ergebnisberichte dieser Studie [BOR 02-1 bis 02-3] sind auf der Internetseite des MUNLV öffentlich zugänglich.

In der Studie wurden UMTS-Sendeanlagen nicht erfasst. Seit Anfang 2004 ist insbesondere in den Ballungsräumen NRWs die neue Mobilfunkgeneration UMTS in Betrieb. Die UMTS-Anlagen werden parallel zu den bestehenden GSM-Anlagen betrieben und erzeugen zusätzliche elektromagnetische Felder in der Umwelt.

Das MUNLV möchte mit vorliegendem Projekt Aussagen über das tatsächliche Immissionsverhalten von UMTS-Anlagen und Veränderungen gegenüber dem GSM-System gewinnen. Hierzu werden Messungen insbesondere an den Standorten wiederholt, an denen neben GSM- auch UMTS-Sender installiert sind. Im einzelnen sollen in vorliegender Studie folgende Arbeiten durchgeführt werden:

1.2 Aufgabenstellung

An allen 24 Standorten der o.g. Mobilfunkstudie des MUNLV in 2002 sind Wiederholungsmessungen durchzuführen. Im Unterschied zu den 2002er Messungen sollen die Messungen jetzt nur an einem Messpunkt pro Standort erfolgen, und zwar dort, wo 2002 die maximale Immission (durch Mobilfunk insgesamt) festgestellt wurde. Die Messpunkte sind möglichst exakt beizubehalten. Damit und durch weitgehend identische Messverfahren soll sichergestellt werden, dass die Messungen bezüglich möglicher, kleinräumiger Immissionsschwankungen vor allem in Innenräumen vergleichbar zu den Untersuchungen aus 2002 bleiben.

Die Messungen sind bezüglich GSM 900 und GSM 1800 Mobilfunk und weiterer HF-Emittenten mit dem gleichen frequenzselektiven Messsystem (Spektrumanalysator bzw. Messempfänger, geeignete Empfangsantennen) durchzuführen wie bei den MUNLV-Messungen 2002. Auch das Messverfahren (Schwenkmethode mit Hochrechnung auf maximale Anlagenauslastung), das sich in den letzten Monaten als hervorragend geeignet für besagte Aufgabenstellung bewährt hat, wird wieder verwendet. Damit ist seitens der Messmethodik eine Vergleichbarkeit zu den Messungen aus 2002 gewährleistet.

Bezüglich der Immissionen von UMTS-Anlagen soll ein Messverfahren eingesetzt werden, das eine möglichst exakte Erfassung der Immission sowie eine Extrapolation der Immission auf maximale Anlagenauslastung ermöglicht.

Es sollen nicht nur die Immissionen in den Mobilfunkbereichen GSM 900, GSM 1800 und UMTS erfasst werden, sondern auch Messungen sonstiger hochfrequenter Funkanlagen im

gesamten Frequenzbereich 9 kHz bis 3 GHz erfolgen. Neben Mobilfunk sind insbesondere getrennt zu erfassen:

- analoge Hörfunksender,
- digitale Hörfunksender (DAB),
- analoge Fernsehsender,
- digitale Fernsehsender DVB-T (die Region Düsseldorf/Ruhrgebiet befindet sich seit November 2004 im Simulcast-Betrieb, wohingegen die Region Köln/Bonn den analogen terrestrischen Fernsehbetrieb bereits eingestellt hat), und
- DECT.

Um Aussagen über die zeitlichen Änderungen der Immission zu gewinnen, sind ergänzend zu den Augenblicksmessungen an einem Messort eine 24-Stunden- und eine 7-Tage-Langzeitmessung durchzuführen.

In einer Auswertung werden für jeden Messpunkt die Immissionsanteile der einzelnen Verursacher (Mobilfunk, aber auch sonstige hochfrequente Funkanlagen) dargestellt. Die Einzelbeiträge werden zu einer Gesamtimmission aufsummiert und mit den Grenzwerten der 26. BImSchV verglichen.

Die neu gewonnenen Messergebnisse werden denen aus 2002 gegenüber gestellt. Die Immissionsanteile der GSM- und UMTS-Anlagen werden dabei gesondert ausgewiesen und verglichen.

2 Auswahl der Messpunkte

Nach Aufgabenstellung war die Immission an demjenigen Messpunkt jedes der 24 Anlagenstandorte zu messen, an dem in den Untersuchungen von 2002 die höchste Immission durch Mobilfunk insgesamt ermittelt wurde. Diese Vorgabe konnte bis auf zwei Ausnahmen eingehalten werden.

Die erste Ausnahme betrifft den Messort BI 2 (Notation wie in den Untersuchungen in 2002, siehe [BOR 02-3]): Das Hochhaus Deckertstraße 39, auf dem die Hauptsendeanlage in 2002 installiert war und in dem alle drei Messpunkte lagen, existiert mittlerweile wegen Abriss nicht mehr. Statt dessen wurde in einem gegenüber liegenden Hochhaus (Deckertstraße 41), auf dem sich ebenfalls eine Mobilfunk-Sendeanlage befindet, in einer zum MP 2.1 ähnlichen Konfiguration (11. OG direkt unter der Anlage) gemessen.

Die zweite Ausnahme betrifft den Standort D 1. Zum Messpunkt D 1.4 ließ sich kein Zugang organisieren, weswegen hier auf den Messpunkt D 1.3 ausgewichen wurde. D 1.3 ist von der Lage und der Immission her vergleichbar zu D 1.4 (beide befinden sich im 7. OG des Hauses, auf dem sich die Sendeanlage befindet).

Da bei der Organisation der Messreihe im Vorfeld der Messungen ein Zugang zum für den Standort AC 1 relevanten Messpunkt AC 1.1 nicht möglich schien, wurde mit AC 1.3 ein Ersatzpunkt bestimmt. Während der Vorortmessungen konnte der Zugang zu AC 1.1 dann

aber doch noch organisiert werden. Somit wurden am Standort AC 1 zwei Messpunkte vermessen, von denen bei AC 1.3 aber nur die Mobilfunkmissionen erfasst wurden.

Tabelle 2.1 fasst diejenigen Messpunkte zusammen, an denen die Messungen stattfanden. Beim dazu angegebenen Anlagenstandort handelt es sich um die sog. „Hauptsendeanlage“ (HSA), d.h. die Mobilfunkanlage vor Ort. Für die Beschreibung der einzelnen Messpunkte wird auf den Abschlussbericht aus 2002 verwiesen [BOR 02-3].

Messpunkt (MP)	Anlagenstandort Mobilfunk HSA
AC 1.1	Raafstraße, 52076 Aachen
AC 1.3	Raafstraße, 52076 Aachen
AC 2.3	Bayernallee, 52066 Aachen
AC 3.2	Kleinmarschierstraße, 52062 Aachen
BI 1.2	Dornberger Straße, 33609 Bielefeld
BI 2.1	Deckertstraße, 33617 Bielefeld
BI 3.3	Lüneburger Straße, 33719 Bielefeld
BN 1.1	Am Stingenberg, 53227 Bonn
BN 2.4	Kirchstraße, 53227 Bonn
BN 3.3	Siegburger Straße, 53229 Bonn
D 1.3	Bingener Weg, 40229 Düsseldorf
D 2.1	Kronprinzenstraße, 40217 Düsseldorf
DO 1.4	Wambeler Hellweg, 44143 Dortmund
DO 2.3	Brandisstraße, 44265 Dortmund
DO 3.2	Lange Fuhr, 44149 Dortmund
KR 1.4	Hochstraße, 47798 Krefeld
KR 2.5	Inrather Straße, 47803 Krefeld
MS 1.2	Ludgeriplatz, 48143 Münster
MS 2.1	Klemensstraße, 48154 Münster
OB 1.1	Bismarckstraße, 46047 Oberhausen
OB 2.1	Egelsfurthstraße, 46149 Oberhausen
SI 1.1	Schweriner Straße, 57072 Siegen
W 1.3	Frankfurter Straße, 42109 Wuppertal
W 2.3	Else-Lasker-Schüler-Straße, 42107 Wuppertal
W 3.1	Bahnstraße, 42327 Wuppertal

Tab. 2.1 Messpunkte (MP) und Anlagenstandorte der Mobilfunk-Hauptsendeanlage (HSA)

3 Eingesetzte Messverfahren

3.1 Prinzipielles Messverfahren

Entsprechend der Aufgabenstellung wurde bezüglich GSM-Mobilfunk das gleiche Messverfahren gewählt wie bei den Untersuchungen in 2002. Lediglich beim UMTS-Mobilfunk wurde mit der codeselektiven Technik eine neuartige Messtechnik eingesetzt, die eine zuverlässige Hochrechnung der gemessenen Augenblickswerte auf den maximalen Betriebszustand ermöglicht.

Die GSM-Messungen sowie die Messungen sonstiger hochfrequenter Anlagen wurden frequenzselektiv mit Spektrumanalysator und kalibrierter logarithmisch-periodischer Antenne (bei GSM) bzw. bikonischer Antenne (bei Langwelle, Mittelwelle, UKW, DAB, Analog-TV und DVB-T) durchgeführt. Die Geräte entsprechen dem derzeitigen Stand der Technik und unterliegen einem regelmäßigen Kalibrierzyklus.

Aufgrund von Abschattungen und Interferenzen schwanken die Feldstärkewerte örtlich erheblich. Das Messverfahren muss daher so ausgelegt sein, dass Unterbewertungen der Immissionen vermieden werden, d.h. zuverlässig der im Bereich des Messortes herrschende Maximalwert der elektrischen Feldstärke bestimmt wird.

Diese Maximalwertsuche wurde mit der „Schwenkmethode“ durchgeführt [BOR 2-2]. Dabei wird das ganze Messvolumen mit einer handgeführten Messantenne langsam abgetastet, wobei gleichzeitig die Vorzugsrichtung und die Polarisationsrichtung der Messantenne variiert werden. Ein minimaler Abstand von etwa 50 cm zu Boden, Decke, Wänden, Fenster und allen Gegenständen sollte dabei eingehalten werden, um Verfälschungen des Messresultats zu vermeiden. Gemessen wird in der Regel bis zu einer Höhe von 1,75 m.

Während des gesamten Abtastvorganges wird das Spektrum mit der „Maximum Hold“-Funktion des Messgerätes kontinuierlich erfasst. Erfahrungsgemäß sind dabei Erfassungszeiten von ein bis zwei Minuten ausreichend, um im gegebenen Volumen die Maximalfeldstärke der zu messenden Signale zu finden. Der Hauptvorteil dieses Verfahrens liegt in seiner unproblematischen Durchführbarkeit. Zudem wird der Zeitaufwand für die Messungen bei Anwendung der Schwenkmethode minimiert.

Für die Überblicksmessung vor Ort wurde zusätzlich ein Breitbandfeldstärkemessgerät mit isotroper Sonde verwendet.

Für die codeselektive Erfassung der UMTS-Signale wurde ein Messsystem mit einem Radio Network Analyzer verwendet. Näheres dazu findet sich in Abschnitt 3.3.

Im Detail wurden folgende Messmittel vor Ort eingesetzt:

Messmittel	Typ	Hersteller	Seriennummer	Letzte Kalibrierung
Spektrumanalysator	ESPI 3	Rohde & Schwarz	100093	07/2003
Bikonische Messantenne	UBA 9116	Schwarzbeck	384	04/2003
Bikonische Messantenne	EFS 9218	Schwarzbeck	133	02/2004
LogPer Messantenne	ULSP 9142	Schwarzbeck	112	04/2003
Koaxialkabel 10 m	RG214	Telemeter	K1	07/2003
Koaxialkabel 10 m	RG214	Telemeter	K2	07/2003
Radio Network Analyzer	TSMU	Rohde & Schwarz	100110	02/2004
Strahlungsmessgerät	EMR 300	Narda STS	AP-0023	04/2002
Isotrope E-Feldsonde	Typ 18C	Narda STS	J-0012	04/2002

Tab. 3.1 Eingesetzte Messmittel

Zusätzlich wurden zur Dokumentation der Messorte (radialer Abstand, Vertikalwinkel zu den Mobilfunkantennen) ein Entfernungsmesser sowie ein Vertikalwinkelmessgerät eingesetzt.

Am Spektrumanalysator wurden die folgenden wesentlichen Einstellungen gewählt:

Parameter	GSM-Mobilfunk	DAB	DVB-T
ZF-Bandbreite	200 kHz (channel filter)	2 MHz (channel filter)	10 MHz
Detektor	RMS	RMS	RMS
Video-Bandbreite	1 MHz	10 MHz	10 MHz
Sweep-Time	125 ms	100 ms	100 ms
HF-Dämpfung	je nach Signalstärke	je nach Signalstärke	je nach Signalstärke

Tab. 3.2a Einstellungen am Spektrumanalysator (GSM, DAB, DVB-T)

Parameter	LW, MW	UKW
ZF-Bandbreite	10 kHz	100 kHz
Detektor	Peak	RMS
Video-Bandbreite	30 kHz	300 kHz
Sweep-Time	100 ms	100 ms
HF-Dämpfung	je nach Signalstärke	je nach Signalstärke

Tab. 3.2b Einstellungen am Spektrumanalysator (Langwelle, Mittelwelle, UKW)

Anmerkung: UMTS-Signale wurden nicht mit dem Spektrumanalysator sondern mit einem speziellen Messsystem gemessen (siehe Abschnitt 3.3).

Die für die Langzeitmessungen eingesetzten Geräte werden im Abschnitt 3.6 beschrieben.

Mit dem o.g. Messequipment beträgt die Messunsicherheit etwa ± 3 dB (d.h. etwa ± 41 % bezüglich der Feldstärke). Gründe dafür sind z.B. unvermeidbare Restfehler bei der Kalibrie-

rung der Messantennen und -kabel, die entsprechende Messtoleranz des Spektrumanalysators und die Unsicherheit der Probennahme. Im Rahmen dieser Messkampagne wurden alle gefundenen Immissionswerte *nicht* um den Betrag der Messunsicherheit erhöht.

3.2 Immissionsmessungen bei GSM-Basisstationen

Die Grenzwerte für elektromagnetische Felder in der Umgebung von Funksendeanlagen sind bei höchster Anlagenauslastung, also in dem Betriebszustand, bei dem in der Umgebung die größtmöglichen elektromagnetischen Felder erzeugt werden, einzuhalten. Für die Praxis bedeutet dies, dass vorhandene zeitliche Schwankungen der abgestrahlten Sendeleistung geeignet berücksichtigt werden müssen, damit sichergestellt ist, dass für jeden betrachteten Ort die maximal auftretende Immission ermittelt wird und nicht etwa eine zum Zeitpunkt der Messung eventuell vorhandene schwächere Feldintensität.

Bei GSM-Basisstationen kann die vom Sender abgegebene Signalform und -leistung unter bestimmten Umständen stark schwanken. Für die Sicherstellung einer verlässlichen Maximalfeldstärkebestimmung hat dies folgende Konsequenzen:

- Die minimal von einer GSM-Mobilfunksendeanlage erzeugbare Immission kann bestimmt werden, indem das Feld vermessen wird, das durch den kontinuierlich sendenden Kanal verursacht wird. Gelegentlich wird dieser Kanal auch „Signalisierungskanal“, „Sendekontrollkanal“ oder „Broadcast Channel“ („BCCH“) bezeichnet.
- Die größtmögliche Immission hingegen ermittelt sich am einfachsten durch Multiplikation der Feldstärke, die durch den „Signalisierungskanal“ verursacht wird, mit einem Korrekturfaktor, der aus der Zahl der insgesamt für diese Funkzelle in der Anlage installierten Kanäle (typisch: 2-4) errechnet wird. Der Korrekturfaktor ergibt sich bei Betrachtung der Feldstärke aus der Quadratwurzel der Zahl der installierten Kanäle der Zelle.

Mittels der Messung des Signalisierungskanals jeder Zelle und einer zusätzlichen Multiplikation mit dem Korrekturfaktor (Quadratwurzel aus der Zahl der aktuell installierten Kanäle) ist es also möglich, die aktuell durch die Anlage erzeugbare Maximalimmission zu bestimmen.

Zusätzlich muss noch berücksichtigt werden, dass die Netzbetreiber an vielen Standorten nicht sofort die von der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) genehmigte maximale Kanalzahl ausschöpfen, d.h. der Betreiber hat eventuell für die Zukunft geplante Nachrüstungen mit weiteren Kanälen zur Kapazitätssteigerung der Anlage gleich mit beantragt. Diese Immission bei Maximalausbau der Anlage ergibt sich dann durch Messung der Immission des Signalisierungskanals und anschließender Multiplikation mit dem Korrekturfaktor (Wurzel aus der Zahl der insgesamt genehmigten Kanäle je Zelle).

Im Rahmen dieser Messkampagne wurden die GSM-Immissionen durch Messung der BCCH-Träger mit anschließender multiplikativer Hochrechnung sowohl auf den aktuellen als auch auf den maximal genehmigten Ausbauzustand bestimmt.

3.3 Immissionsmessungen bei UMTS-Basisstationen

Auch bei UMTS-Stationen schwankt die von der Anlage abgegebene Sendeleistung und damit die Immission in der Umgebung mit der momentanen Auslastung der Station. Jedoch existiert auch hier ein Signalisierungssignal (der „Common Pilot Channel“, kurz „CPICH“), das ähnlich wie der BCCH-Träger mit definierter, konstanter Leistung abgegeben wird. Die korrekte Messung des CPICH-Signals bei UMTS gestaltet sich allerdings deutlich schwieriger, als die Bestimmung des BCCH-Trägers bei GSM.

Es existieren jedoch seit einiger Zeit Messgeräte auf dem Markt, die in der Lage sind, das Signal einer UMTS-Basisstation zu decodieren und anzugeben, mit welcher Leistung die einzelnen Kanäle empfangen werden („codeselektive Messung“). Die einzelnen Sektoren einer UMTS-Station werden, ähnlich wie bei GSM durch die Frequenz, bei UMTS durch den sog. „Scrambling-Code“ unterschieden, siehe Bild 3.1. Der Scrambling-Code wird bei der codeselektiven Messung mit dekodiert, so dass zugeordnet werden kann, von welcher UMTS-Station bzw. welchem Sektor die Immission stammt.

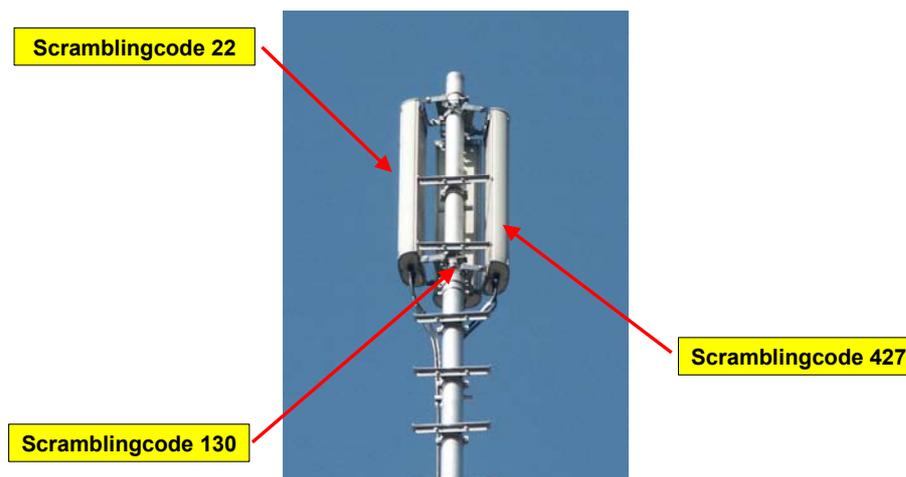


Bild 3.1 Beispiel für eine UMTS-Anlage mit Unterscheidung der drei Sektoren (Zellen) durch unterschiedliche Scrambling-Codes

Unter Zuhilfenahme eines codeselektiven Gerätes wird am Messpunkt die Feldstärke jedes vorhandenen CPICH festgestellt. Dieser Wert stellt näherungsweise auch die Minimalimmission einer UMTS-Anlage dar: Die minimal von einer UMTS-Station abgestrahlte Leistung wird durch die permanent abgegebenen „Signalisierungssignale“ bestimmt. Dazu zählt hauptsächlich das Signal des CPICH, der derzeit typisch mit 10 Prozent der Maximalleistung einer Station abgestrahlt wird. Zusätzlich existieren noch einige weitere Signalisierungssignale (P-CPCCH, SCH), die üblicherweise aber mit geringerer Leistung als der CPICH abgegeben werden, wobei die konkreten Leistungswerte von Anlage zu Anlage differieren können. Aufgrund der leistungsmäßigen Dominanz kann also (unter Vernachlässigung der anderen Signalisierungssignale) die Leistung des CPICH in etwa als die minimale abgestrahlte Leistung der Station angesehen werden.

Die Hochrechnung von der gemessenen CPICH-Immission auf die maximale Anlagenauslastung erfolgt dann mittels Multiplikation mit einem Faktor, der sich aus der aktuell eingestell-

ten Leistung des CPICH und der maximal möglichen Sendeleistung der Anlage ergibt. Dieser Faktor (in der Regel 10 bezüglich der Leistung) wurde für vorliegende Messungen bei den Netzbetreibern abgefragt.

Auch hier ist natürlich sowohl eine Hochrechnung auf die nach aktuellem Ausbauzustand maximal mögliche Immission bzw. auf die gemäß RegTP-Antrag maximal mögliche Immission machbar. Der Hauptunterschied bei UMTS zwischen aktueller und maximaler Immission ergibt sich hauptsächlich daraus, dass die Betreiber derzeit ihre UMTS-Stationen nur mit *einem* Frequenzkanal betreiben, bei der RegTP jedoch bereits *zwei* Frequenzkanäle beantragt haben. Mehr Kanäle sind bei der im Moment im Aufbau befindlichen UMTS-Variante (FDD-Mode) nicht möglich, da jeder Betreiber dafür nur zwei Frequenzkanäle im Rahmen der UMTS-Versteigerung erworben hat.

Das codeselektive Verfahren liefert also die Möglichkeit, auch bei UMTS eine korrekte Hochrechnung auf maximale Anlagenauslastung durchzuführen, wobei es unerheblich ist, welche Auslastung zum Zeitpunkt der Messung herrscht. Bei den Messungen in NRW wurde ein derartiges codeselektives Messsystem, bestehend aus einem Radio Network Analyzer als HF-Frontend und der Steuerungssoftware RFEX von Rohde & Schwarz, eingesetzt.

In Tabelle 3.3 ist das Verfahren der Hochrechnung der gemessenen CPICH-Immissionen auf die maximale Anlagenauslastung bei der codeselektiven Messtechnik dargestellt. Im Rahmen der codeselektiven Messung an einem Messpunkt seien durch das Messgerät Immissionsanteile für die Scrambling-Codes 22, 130 und 427 gefunden worden, die sich durch die Datenabfrage bei den Netzbetreibern als Immissionen der Sektorantennen 0°, 120° und 240° ein und derselben Anlage des Betreibers A identifizieren lassen. Als Beispiel wird hier die Hochrechnung für den Scrambling-Code 22 gezeigt, für den das codeselektive Messsystem unter Berücksichtigung von Kabel- und Antennenparametern eine elektrische Feldstärke von 104 dB μ V/m (entsprechend 0,158 V/m) ermittelt habe.

Gemessene Feldstärke des CPICH (für Scrambling-Code 22)	104 dB μ V/m
Hochrechnung auf die maximale Auslastung ($P_{\max} = 20 \text{ W}$, $P_{\text{CPICH}} = 2 \text{ W}$)	10 dB
Feldstärke bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung und <i>aktuellem Ausbauzustand</i>	114 dB μ V/m
Umrechnung von dB μ V/m in V/m	0,50 V/m
Grenzwert nach 26. BImSchV	61 V/m
Grenzwertausschöpfung bzgl. Feldstärke, aktueller Ausbauzustand	0,82 %
Berücksichtigung der zweiten Frequenz (spätere Anlagenerweiterung ist bereits beantragt)	3 dB
Feldstärke bei höchster Anlagenauslastung und <i>maximalem Ausbauzustand</i>	117 dB μ V/m
Umrechnung von dB μ V/m in V/m	0,71 V/m
Grenzwertausschöpfung bzgl. Feldstärke, maximaler Ausbauzustand	1,16 %

Tab. 3.3 Beispiel für das Hochrechnungsverfahren bei der codeselektiven Messung für UMTS

Alternativ zu codeselektiven Messungen sind Immissionsmessungen an UMTS-Stationen prinzipiell auch mit frequenzselektiven Messgeräten (Spektrumanalysator oder Messempfänger) möglich. Im Gegensatz z.B. zur breitbandigen Messung mit im Arbeitsschutz üblichen Feldsonden können hier immerhin UMTS-Signale eines Betreibers von UMTS-Signalen anderer Betreiber sowie von anderen hochfrequenten Signalen separiert werden. Nicht möglich ist jedoch eine Unterscheidung der UMTS-Immissionsanteile von unterschiedlichen Anlagen oder unterschiedlichen Sektoren einer Anlage eines Betreibers, da diese ein und dieselbe Frequenz verwenden. Eine Extrapolation auf maximale Anlagenauslastung ist bei einer operativen Anlage aufgrund der Unkenntnis über die momentane Auslastung nur als worst case möglich. Hier muss angenommen werden, dass die momentan gemessene Immission sich nur aus der Immission durch die permanent vorhandenen Signalisierungskanäle zusammensetzt. Zum Zeitpunkt der Messung vorhandener Sprach- und Datenverkehr wird somit als Signalisierung gerechnet; dies führt bei einer Extrapolation zu einer Überschätzung des maximalen Betriebszustandes, der vom Verkehrsaufkommen zur Zeit der Messung abhängt. Mit einer spektralen Messung lässt sich deswegen grundsätzlich nur die Einhaltung des Grenzwertes nachweisen, nicht aber dessen Überschreitung. Außerdem ist bei Anlagen mit Verkehrslast keine exakte wertemäßige Bestimmung der maximal möglichen Immission möglich, weswegen in vorliegendem Projekt die codeselektive Messtechnik eingesetzt wurde.

3.4 Sonstige hochfrequente Funksendeanlagen

Die Immissionen, verursacht durch sonstige hochfrequente Sendeanlagen (Langwellen-, Mittelwellen-, UKW- DAB- und DVB-T-Sender) wurden ebenfalls durch frequenzselektive Messungen ermittelt. Eine Hochrechnung auf maximale betriebliche Anlagenauslastung unterbleibt hier allerdings, da davon ausgegangen werden kann, dass die betreffenden Anlagen immer mit der gleichen Leistung senden.

Bei der Erfassung der Signale, verursacht durch DECT-Basisstationen (DECT = **D**igital **E**uropean **C**ordless **T**elephone) ist zusätzlich folgendes zu berücksichtigen:

DECT-Basisstationen geben kein zeitkontinuierliches Signal ab, sondern sie senden mit einer Wiederholfrequenz von 100 Hz, ähnlich wie ein GSM-Telefon, ein Signal mit einem Puls-Pausenverhältnis (Tastverhältnis) von 1:27 [SCHM 04]. Da jedoch gemäß 26. BImSchV der Effektivwert der Immission („thermisches Äquivalent“) zu bestimmen ist, wird der bei den Messungen erfasste Pulsspitzenwert der Feldstärke mittels des Tastverhältnisses zu einem niedrigeren Beurteilungswert korrigiert, um eine Vergleichbarkeit mit den Immissionen der anderen betrachteten Funksendeanlagen zu gewährleisten:

$$E_B \left[\frac{dB\mu V}{m} \right] = E_{gem} \left[\frac{dB\mu V}{m} \right] + 20 \cdot \log \sqrt{\left(\frac{1}{27} \right)} = E_{gem} \left[\frac{dB\mu V}{m} \right] - 14,3dB \quad (3.1)$$

E_B = Beurteilungswert

E_{gem} = gemessene Feldstärke

Die im Messbericht und in dieser zusammenfassenden Darstellung angegebenen Immissionen von DECT-Basisstationen sind bereits die gemäß Gleichung (3.1) korrigierten Werte.

3.5 Nachweisgrenzen

Beliebig kleine Feldstärken können mit der hier angewendeten Messmethode nicht erfasst werden. Die Nachweisgrenze wird hauptsächlich durch das Eigenrauschen des verwendeten Spektrumanalysators, die Dämpfung des Messkabels und den Gewinn der Messantenne bestimmt. Für die verschiedenen Funkdienste ergeben sich folgende Nachweisgrenzen, die alle mindestens um den feldstärkebezogenen Faktor 10.000 (80 dB) unter dem jeweiligen Grenzwert liegen:

Funkdienst	Nachweisgrenze
GSM 900	0,0005 V/m (54 dB μ V/m)
GSM 1800	0,001 V/m (60 dB μ V/m)
UKW	0,002 V/m (66 dB μ V/m)
DAB	0,001 V/m (60 dB μ V/m)
DVB-T	0,001 V/m (60 dB μ V/m)
Analog-TV	0,001 V/m (60 dB μ V/m)
Langwelle, Mittelwelle	0,0025 V/m (68 dB μ V/m)
UMTS	0,001 V/m (60 dB μ V/m)
DECT	0,001 V/m (60 dB μ V/m)

Tab. 3.3 Nachweisgrenzen

Trotz dieser Nachweisgrenzen wurden Frequenzen, deren Signale zu schwach waren, um auf die Gesamtimmission einen nennenswerten Einfluss zu haben, nicht mitprotokolliert.

3.6 Langzeitmessungen

Um eine Erfassung hochfrequenter Felder über längere Zeiträume zu ermöglichen, muss eine Messeinrichtung mindestens folgende Funktionalität besitzen:

- Richtungsunabhängige Messung der Feldstärke mittels einer isotropen Antenne,
- Korrekte Bewertung der gemessenen Feldstärke in Abhängigkeit von der Signalform (Modulation) der verursachenden Quelle (Effektivwert),
- Bewertung mit dem für das jeweilige Signal gültigen Grenzwert,
- Speicherung der Messergebnisse für eine spätere Darstellung bzw. direkte Visualisierung des Zeitverlaufes der Immission mittels eines geeigneten Mediums (z.B. Bildschirm).

Es zeigt sich, dass die Realisierung eines Systems, das alle oben genannten Eigenschaften uneingeschränkt besitzt, derzeit nur unter Inkaufnahme einiger Einschränkungen möglich ist. Im folgenden wird kurz auf die beiden grundsätzlichen Realisierungsstrategien für derartige Messeinrichtungen eingegangen:

Verfahren 1: Messung mit isotroper (d.h. richtungsunabhängiger) Breitbandsonde.

Verfahren 2: Frequenzselektive Messung mit Spektrumanalysator und isotroper Antenne sowie anschließender Summation der gefundenen Einzelimmissionswerte.

3.6.1 Breitbandmessung

Vorteile der Breitbandmessung:

Der gerätetechnische Aufwand für die Messungen ist bei diesem Verfahren minimiert. Üblicherweise besteht eine derartige Messeinrichtung im wesentlichen aus dem eigentlichen Messgerät mit integrierter oder abgesetzter isotroper Sonde, einer Stromversorgungseinrichtung und einer Schnittstelle zur Messwertübertragung. Liest man die an der Schnittstelle gelieferten Messdaten direkt in einen Computer ein, so kann mit relativ einfacher Steuer- und Auswertesoftware eine Langzeitimmissionserfassung realisiert werden.

Die für derartige Messgeräte verfügbaren Sonden zeichnen sich durch eine gute Isotropie und einen großen nutzbaren Frequenzbereich (z.B. 100 kHz bis 3 GHz) aus. Es sind Sonden sowohl für das elektrische als auch das magnetische Feld verfügbar.

Das System liefert direkt die am Messpunkt vorhandene Summenfeldstärke. Die Messdaten können direkt der weiteren Verwendung (Speicherung, Online-Darstellung) zugeführt werden.

Nachteile der Breitbandmessung:

Hauptnachteil dieses Messprinzips ist allerdings, dass die gemessenen Immissionen nicht bzw. nur sehr grob nach Verursachern aufgliedert werden können, da die Frequenzinformation bei der Erfassung verloren geht. Dies bedeutet, dass an Punkten, die sich in der Nähe von Standorten mit verschiedenen Sendeanlagen befinden (z.B. GSM 900, GSM 1800, UMTS, UKW, DVB-T) nicht ermittelt werden kann, wie viel Immission von der jeweiligen Anlage herrührt.

Auch die korrekte Bewertung der gefundenen Feldstärkewerte mit den bekanntlich frequenzabhängigen Grenzwerten ist nur sehr eingeschränkt machbar. Ebenso sind Fehlinterpretationen der Messwerte möglich: Ergibt sich plötzlich eine Zunahme der gemessenen Feldstärke, kann nicht nachvollzogen werden, ob eine in der Nähe befindliche Mobilfunksendeanlage mit höherer Leistung sendet als bisher, ob ein neuer Sender in der Nähe installiert wurde, oder ob nur in der Nähe zum Beispiel eine DECT-Station in Betrieb genommen wurde bzw. jemand mit seinem Mobiltelefon ein Gespräch nahe der Messeinrichtung geführt hat.

Zudem ist die Empfindlichkeit derartiger Systeme deutlich eingeschränkt. Bei Feldstärken unter etwa 1 V/m (120 dB μ V/m) nimmt die Messunsicherheit deutlich zu. Felder unter 0,1 V/m (100 dB μ V/m) können typischerweise nicht mehr vernünftig detektiert werden. Damit wird der Einsatzbereich von Breitbandmesssystemen auf Orte, an denen ausreichend hohe Feldstärkewerte herrschen, beschränkt.

Im Rahmen des Messprojektes in NRW wurde eine breitbandige Immissionsmessung an einem Messpunkt über die Dauer von 7 Tagen mit dem Feldstärkemessgerät EMR 300 von Narda STS durchgeführt (Frequenzbereich: 100 kHz bis 3 GHz).

3.6.2 Frequenzselektive Messung

Vorteile der frequenzselektiven Messung:

Der große Vorteil frequenzselektiver Messsysteme liegt in der frequenz aufgelösten Messung der Immissionen, so dass alle am Messpunkt vorhandenen Signale separat erfasst und richtig mit dem jeweiligen Grenzwert bewertet werden können. Eine Summation ergibt anschließend die Größe der am Messpunkt herrschenden Gesamtimmission. Es lassen sich also Mess- und Interpretationsfehler, wie sie bei dem Einsatz von Breitbandsonden entstehen können, verhindern.

Zusätzlich besitzt das frequenzselektive Verfahren eine deutlich niedrigere Empfindlichkeitsschwelle (typisch unter 0,01 V/m bzw. 80 dB μ V/m).

Nachteile der frequenzselektiven Messung:

Der gerätetechnische Aufwand für frequenzselektive Messeinrichtungen ist im Vergleich zum breitbandigen Verfahren höher. Der Stromverbrauch derartiger Systeme ist größer, so dass ein netzunabhängiger Betrieb in der Regel nur über kurze Zeiträume möglich ist.

Das System erzeugt eine wesentlich größere Zahl an Messdaten als eine Breitbandmesseinrichtung, die mittels der Steuersoftware geeignet aufbereitet und gespeichert werden müssen. Die Festplattengröße handelsüblicher Notebooks lässt dennoch eine permanente Messung inklusive Messdatenspeicherung für Zeiträume bis zu mehreren Monaten prinzipiell zu. Anzumerken ist noch, dass das betrachtete Spektrum sukzessiv abgetastet wird, so dass die einzelnen Signale nur in mehr oder weniger großen zeitlichen Abständen gemessen werden können. Die Erfassung sehr kurzzeitiger Schwankungen der Immission bei gleichzeitiger Überwachung eines großen Spektralbereiches wird hierdurch eingeschränkt. Auch ergeben sich dadurch Probleme bei der korrekten Messung von Immissionen, verursacht durch Anlagen, die mit schnell wechselnden Sendefrequenzen arbeiten (z.B. GSM-Basisstationen in der Betriebsart „frequency-hopping“).

Die für die frequenzselektive Erfassung notwendige isotrope Breitbandantenne kann nicht mit der Präzision in Bezug auf Wandlungsmaß und Isotropie hergestellt werden, wie dies bei den Feldstärkesensoren von Breitbandmesssystemen der Fall ist. Zusätzlich besteht die Möglich-

keit einer starken Wechselwirkung zwischen der Antenne und dem Messkabel, so dass z.B. auf einen definierten Messaufbau besonders Wert gelegt werden muss. Die Antenne stellt derzeit noch einen großen Schwachpunkt bei der frequenzselektiven Langzeitmessung dar.

Mit frequenzselektiven Systemen können also vielfältigere Messaufgaben erfüllt werden, als mit breitbandigen Geräten möglich sind.

Im Rahmen des hier beschriebenen Projektes wurde an einem Messpunkt eine frequenzselektive Erfassungen der Immission über 24 Stunden im Frequenzbereich 80 MHz bis 2,5 GHz durchgeführt. Zum Einsatz kam dabei das Langzeitmesssystem TS-EMF von Rohde & Schwarz, bestehend aus einem Spektrumanalysator FSH3, einer isotropen Messantenne, einem Steuerrechner (Notebook) sowie der Steuersoftware RFEX.

3.6.3 Grenzen der Aussagekraft von Langzeitimmissionsmessungen

Aufgrund der im Hochfrequenzbereich typisch vorhandenen kleinräumigen Schwankungen der Feldstärkewerte um bis zu mehrere Größenordnungen ist die Aussagekraft der Resultate von derartigen fest montierten Messeinrichtungen beschränkt, da - im Gegensatz zu beispielsweise Luftgüteparametern - bei Hochfrequenz häufig bereits bei geringer räumlicher Verlagerung des Messpunktes völlig andere Immissionswerte herrschen können. Insbesondere innerhalb von Gebäuden oder im Bereich eng bebauter Städte ist zusätzlich der Einfluss von Abschattungen nicht zu unterschätzen: Eine Veränderung des Standortes der Dauermesseinrichtung um wenige Zentimeter kann bereits zu einer deutlichen Veränderung der Messresultate führen, wenn dadurch beispielsweise aufgrund einer Gebäudeecke plötzlich Sichtverbindung zu den Antennen einer Mobilfunkstation entsteht. Derartige Interferenz- und abschattungsbedingte Feldstärkeschwankungen können durchaus eine Spannweite von deutlich mehr als 10 dB (d.h. mehr als den Faktor 3 bezüglich der Feldstärke) erreichen [BOR 02-3]. Die absoluten Resultate von Langzeitmessungen sind in ihrer Qualität nicht mit der Ergebnissen von normgerechten Kurzzeitmessungen vergleichbar, sie können jedoch trotz allem einige zusätzliche Informationen über die zeitliche Variabilität von Hochfrequenzimmissionen liefern, die mit Kurzzeitmessungen nur schwer gewonnen werden können.

4 Grenzwerte

In diesem Bericht wird ausnahmslos auf die für Deutschland gesetzlich festgelegten Grenzwerte der 26. BImSchV referenziert.

In Tabelle 4.1 sind die Grenzwertinformationen der 26. BImSchV für den Hochfrequenzbereich dargestellt. Die Grenzwerte werden angegeben als

- Elektrische Feldstärke E , maximal zulässiger Effektivwert in V/m, gemittelt über 6-Minuten-Intervalle,
- Magnetische Feldstärke H , maximal zulässiger Effektivwert in A/m, gemittelt über 6-Minuten-Intervalle.

Frequenz f in MHz	Effektivwert, quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle	
	Elektrische Feldstärke E_{eff} [V/m]	Magnetische Feldstärke H_{eff} [A/m]
10 - 400	27,5	0,073
400 - 2000	$1,375 \sqrt{f}$	$0,0037 \sqrt{f}$
2000 - 300000	61	0,16

Tab. 4.1 Grenzwerte der elektrischen und magnetischen Feldstärke im HF-Bereich

Ein Grenzwert ist eingehalten, wenn der gemessene Wert unterhalb der Grenzwertkurve liegt, bzw. wenn der Quotient aus gemessenem Wert und Grenzwert kleiner Eins ist. Wirken wie im vorliegendem Fall mehrere Felder mit voneinander unabhängigen Frequenzen kohärent zusammen, dann sind die Quotienten aus den gemessenen Effektivwerten der Feldstärken und den jeweiligen Grenzwerten geometrisch aufzusummieren. Diese Summe darf den Wert Eins nicht überschreiten.

Elektrische und magnetische Feldstärken sind im Fernfeld einer Strahlungsquelle über den Wellenwiderstand des Freiraumes, $Z_0 = 377 \Omega$, ineinander überführbar und beinhalten deswegen dieselbe Information. Deswegen ist es hier ausreichend, lediglich die Größe des elektrischen Feldes zu messen.

Das Produkt von elektrischer und magnetischer Feldstärke im Fernfeld einer Strahlungsquelle ergibt die elektrische Leistungsflussdichte S . Da auch diese dieselbe Information wie die Feldstärke beinhaltet, wird sie oft alternativ zur elektrischen Feldstärke bei der Grenzwertüberprüfung herangezogen.

Tabelle 4.2 fasst die relevanten Grenzwerte der 26. BImSchV für die Abstrahlung der Basisstationen (Downlink) bei GSM 900, GSM 1800 und UMTS zusammen. Die angegebenen Grenzwerte gelten für die jeweilige *Untergrenze* des Downlink-Frequenzbereiches, da die Grenzwerte für diese Frequenzen am schärfsten sind.

Deutschland – 26. BImSchV	Elektrische Feld- stärke E_{eff} [V/m]	Magnetische Feld- stärke H_{eff} [A/m]	Äquivalente Leistungs- flussdichte S [W/m^2]
GSM 900	42,0	0,11	4,7
GSM 1800	58,4	0,16	9,2
UMTS	61,0	0,17	10

Tab. 4.2: Grenzwerte für die Mobilfunkfrequenzbereiche nach 26. BImSchV

Die Grenzwertvergleiche dieses Berichtes werden anhand der elektrischen Feldstärke vorgenommen. Aus dem Grad der Grenzwertausschöpfung *bezüglich der elektrischen Feldstärke* kann durch Quadrieren auf einfache Weise der Grad der Grenzwertausschöpfung *bezüglich der äquivalenten Leistungsflussdichte* vorgenommen werden:

Beispiel:

Sei Grenzwertausschöpfung bzgl. elektrischer Feldstärke: 20 % = 0,2
 Quadrieren: $(0,2)^2 = 0,04 = 4 \%$
 Ergibt Grenzwertausschöpfung bzgl. Leistungsflussdichte: 4 %

Diese leistungs(flussdichte)bezogene Grenzwertaussage wird z.B. in der Europäischen Ratsempfehlung [99/519/EG] oder auch in der Messempfehlung der RegTP [EMF 3], die die Basis für die Werte in der EMF-Datenbank der RegTP (<http://emf.regtp.de>) darstellen, verwendet.

5 Ergebnisse

5.1 Mobilfunk

5.1.1 Gesamtergebnisse Mobilfunk und Schwankungsbreite

In Tabelle 5.1 sind die Gesamtergebnisse der Messungen bezüglich der durch Mobilfunkanlagen verursachten Immissionen aufgelistet. Die Immissionen sind dabei für drei verschiedene Betriebszustände der Mobilfunk-Sendeanlagen angegeben:

Minimale Immission:

Dieser Wert gibt die minimale Immission an, die von den Mobilfunksendeanlagen am Messpunkt erzeugt wird. Sie tritt auf, wenn von den betreffenden Anlagen kein Gesprächs- oder Datenverkehr abgewickelt wird und stammt von den permanent abgestrahlten Signalisierungssignalen der Stationen. Die „minimale Immission“ wird vor Ort messtechnisch bestimmt.

Immission bei aktuellem Ausbauzustand:

Dieser Wert gibt die Immission an, die von den Mobilfunksendeanlagen beim derzeitigen Ausbauzustand maximal am Messpunkt erzeugt werden kann. Sie tritt dann auf, wenn von den betreffenden Mobilfunkanlagen die für diesen Ausbauzustand größtmögliche Gesprächszahl bzw. Datenmenge abgewickelt wird und alle Teilnehmer mit maximal möglicher Sendeleistung versorgt werden. Die „aktuelle Immission“ wird aus der vor Ort gemessenen „minimalen Immission“ und den technischen Anlagendaten (aktueller Ausbauzustand) hochgerechnet.

Immission bei Maximalausbau:

Dieser Wert gibt die Immission an, die von den Mobilfunksendeanlagen (nach Realisierung des durch die RegTP im Rahmen der Standortbescheinigung genehmigten *maximalen* Ausbauzustands) maximal am Messpunkt erzeugt werden kann. Sie tritt dann auf, wenn die betreffenden Anlagen mit derjenigen maximalen Kanalzahl aufgebaut ist, die bei der RegTP beantragt wurde, die für Maximalausbau größtmögliche Gesprächszahl bzw. Datenmenge abgewickelt wird und alle Teilnehmer mit maximal möglicher Sendeleistung versorgt werden. Die „maximale Immission“ wird aus der vor Ort gemessenen „minimalen Immission“ und den technischen Anlagendaten (maximaler Ausbauzustand) hochgerechnet.

Durch Angabe dieser drei Immissionswerte ist die mögliche Schwankungsbreite der Immissionen an jedem Messpunkt charakterisiert.

Als Immissionsgrößen werden für jeden Messpunkt angegeben:

- Die Leistungsflussdichte S in W/m^2 ,
- Die elektrische Feldstärke E in V/m und
- Der Ausschöpfungsgrad der Grenzwerte nach 26. BImSchV, bezogen auf die elektrische Feldstärke, in %.

Wie in 2002 werden die Immissionen unterschieden nach dem Anteil durch die Hauptsendeanlage (HSA), den umliegenden Nebensendeanlagen (NSA) und der resultierenden Gesamtmission durch Mobilfunk.

MP	Immission	Minimal			Aktuell			Maximal		
		HSA	NSA	gesamt	HSA	NSA	gesamt	HSA	NSA	gesamt
AC 1.1	S [W/m ²]	3,4·10 ⁻³	2,0·10 ⁻⁶	3,4·10 ⁻³	6,8·10 ⁻³	3,9·10 ⁻⁶	6,8·10 ⁻³	1,4·10 ⁻²	1,2·10 ⁻⁵	1,4·10 ⁻²
	E [V/m]	1,13	0,03	1,13	1,60	0,04	1,60	2,26	0,07	2,26
	% GW	2,67	0,06	2,67	3,78	0,09	3,78	5,35	0,16	5,35
AC 1.3	S [W/m ²]	9,5·10 ⁻⁵	2,6·10 ⁻⁵	1,2·10 ⁻⁴	1,9·10 ⁻⁴	5,2·10 ⁻⁵	2,4·10 ⁻⁴	3,8·10 ⁻⁴	1,4·10 ⁻⁴	5,3·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,19	0,10	0,21	0,27	0,14	0,30	0,38	0,23	0,45
	% GW	0,45	0,23	0,51	0,63	0,33	0,71	0,90	0,55	1,05
AC 2.3	S [W/m ²]	2,6·10 ⁻²	5,4·10 ⁻⁴	2,6·10 ⁻²	6,6·10 ⁻²	1,2·10 ⁻³	6,7·10 ⁻²	1,1·10 ⁻¹	2,1·10 ⁻³	1,2·10 ⁻¹
	E [V/m]	3,13	0,45	3,16	4,98	0,66	5,03	6,54	0,90	6,60
	% GW	7,30	0,76	7,34	11,43	1,12	11,48	14,92	1,53	15,00
AC 3.2	S [W/m ²]	1,2·10 ⁻²	2,3·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻²	3,0·10 ⁻²	4,7·10 ⁻⁴	3,1·10 ⁻²	4,7·10 ⁻²	9,5·10 ⁻⁴	4,8·10 ⁻²
	E [V/m]	2,09	0,30	2,11	3,39	0,42	3,41	4,20	0,60	4,24
	% GW	4,95	0,51	4,97	8,01	0,72	8,04	9,91	1,03	9,96
BI 1.2	S [W/m ²]	2,7·10 ⁻³	0	2,7·10 ⁻³	7,2·10 ⁻³	0	7,2·10 ⁻³	1,5·10 ⁻²	0	1,5·10 ⁻²
	E [V/m]	1,00	0	1,00	1,65	0	1,65	2,40	0	2,40
	% GW	2,26	0	2,26	3,49	0	3,49	5,02	0	5,02
BI 2.1*	S [W/m ²]	3,5·10 ⁻⁵	2,3·10 ⁻³	2,3·10 ⁻³	7,1·10 ⁻⁵	6,0·10 ⁻³	6,0·10 ⁻³	1,4·10 ⁻⁴	7,5·10 ⁻³	7,6·10 ⁻³
	E [V/m]	0,11	0,92	0,93	0,16	1,50	1,51	0,23	1,68	1,69
	% GW	0,25	1,92	1,94	0,36	3,19	3,21	0,50	3,61	3,64
BI 3.3	S [W/m ²]	4,8·10 ⁻⁵	5,7·10 ⁻³	5,7·10 ⁻³	5,3·10 ⁻⁵	9,7·10 ⁻³	9,8·10 ⁻³	9,7·10 ⁻⁵	2,6·10 ⁻²	2,6·10 ⁻²
	E [V/m]	0,13	1,46	1,47	0,14	1,91	1,92	0,19	3,15	3,15
	% GW	0,23	2,87	2,88	0,24	3,82	3,83	0,32	6,04	6,05
BN 1.1	S [W/m ²]	3,3·10 ⁻⁴	0	3,3·10 ⁻⁴	7,3·10 ⁻⁴	0	7,3·10 ⁻⁴	1,5·10 ⁻³	0	1,5·10 ⁻³
	E [V/m]	0,35	0	0,35	0,53	0	0,53	0,74	0	0,74
	% GW	0,61	0	0,61	0,91	0	0,91	1,28	0	1,28
BN 2.4	S [W/m ²]	6,1·10 ⁻⁴	0	6,1·10 ⁻⁴	1,3·10 ⁻³	0	1,3·10 ⁻³	2,6·10 ⁻³	0	2,6·10 ⁻³
	E [V/m]	0,48	0	0,48	0,71	0	0,71	1,00	0	1,00
	% GW	1,13	0	1,13	1,64	0	1,64	2,31	0	2,31
BN 3.3	S [W/m ²]	7,0·10 ⁻⁴	9,1·10 ⁻⁶	7,1·10 ⁻⁴	1,4·10 ⁻³	3,2·10 ⁻⁵	1,4·10 ⁻³	1,4·10 ⁻³	4,8·10 ⁻⁵	1,4·10 ⁻³
	E [V/m]	0,51	0,06	0,52	0,73	0,11	0,74	0,73	0,13	0,74
	% GW	0,87	0,13	0,88	1,23	0,24	1,26	1,23	0,28	1,27
D 1.3	S [W/m ²]	5,8·10 ⁻³	8,9·10 ⁻⁵	5,9·10 ⁻³	1,2·10 ⁻²	1,9·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻²	2,3·10 ⁻²	3,2·10 ⁻⁴	2,4·10 ⁻²
	E [V/m]	1,47	0,18	1,49	2,09	0,27	2,11	2,96	0,35	2,98
	% GW	2,49	0,40	2,52	3,53	0,58	3,57	4,99	0,77	5,05

MP	Immission	Minimal			Aktuell			Maximal		
		HSA	NSA	gesamt	HSA	NSA	gesamt	HSA	NSA	gesamt
D 2.1	S [W/m ²]	1,2 · 10 ⁻³	1,8 · 10 ⁻⁶	1,2 · 10 ⁻³	3,6 · 10 ⁻³	5,3 · 10 ⁻⁶	3,6 · 10 ⁻³	7,3 · 10 ⁻³	7,0 · 10 ⁻⁶	7,3 · 10 ⁻³
	E [V/m]	0,68	0,03	0,68	1,17	0,04	1,17	1,66	0,05	1,66
	% GW	1,49	0,04	1,49	2,58	0,08	2,58	3,64	0,09	3,64
DO 1.4	S [W/m ²]	4,5 · 10 ⁻⁴	9,2 · 10 ⁻⁶	4,6 · 10 ⁻⁴	6,9 · 10 ⁻⁴	1,7 · 10 ⁻⁵	7,0 · 10 ⁻⁴	2,2 · 10 ⁻³	2,6 · 10 ⁻⁵	2,2 · 10 ⁻³
	E [V/m]	0,41	0,06	0,42	0,52	0,08	0,51	0,91	0,10	0,92
	% GW	0,69	0,12	0,70	0,85	0,18	0,87	1,53	0,21	1,55
DO 2.3	S [W/m ²]	4,3 · 10 ⁻³	5,1 · 10 ⁻⁶	4,3 · 10 ⁻³	8,0 · 10 ⁻³	1,0 · 10 ⁻⁵	8,0 · 10 ⁻³	1,5 · 10 ⁻²	1,1 · 10 ⁻⁵	1,5 · 10 ⁻²
	E [V/m]	1,28	0,04	1,28	1,74	0,06	1,74	2,34	0,06	2,34
	% GW	2,73	0,10	2,74	3,88	0,15	3,88	5,18	0,15	5,18
DO 3.2	S [W/m ²]	1,6 · 10 ⁻³	2,3 · 10 ⁻⁴	1,9 · 10 ⁻³	3,3 · 10 ⁻³	4,9 · 10 ⁻⁴	3,8 · 10 ⁻³	3,5 · 10 ⁻³	9,3 · 10 ⁻⁴	4,5 · 10 ⁻³
	E [V/m]	0,79	0,29	0,84	1,12	0,43	1,20	1,15	0,59	1,30
	% GW	1,58	0,53	1,66	2,25	0,77	2,38	2,29	1,04	2,51
KR 1.4	S [W/m ²]	9,9 · 10 ⁻³	4,2 · 10 ⁻⁶	9,9 · 10 ⁻³	4,0 · 10 ⁻²	1,3 · 10 ⁻⁵	4,0 · 10 ⁻²	4,0 · 10 ⁻²	1,7 · 10 ⁻⁵	4,0 · 10 ⁻²
	E [V/m]	1,93	0,04	1,93	3,87	0,07	3,87	3,87	0,08	3,87
	% GW	4,57	0,07	4,57	9,13	0,12	9,13	9,14	0,14	9,14
KR 2.5	S [W/m ²]	1,9 · 10 ⁻²	6,0 · 10 ⁻⁶	1,9 · 10 ⁻²	9,6 · 10 ⁻²	1,2 · 10 ⁻⁵	9,6 · 10 ⁻²	1,9 · 10 ⁻¹	1,6 · 10 ⁻⁵	1,9 · 10 ⁻¹
	E [V/m]	2,65	0,05	2,65	6,00	0,07	6,00	8,49	0,08	8,49
	% GW	5,59	0,08	5,59	11,03	0,11	11,03	15,60	0,13	15,60
MS 1.2	S [W/m ²]	2,5 · 10 ⁻³	4,7 · 10 ⁻⁴	3,0 · 10 ⁻³	1,0 · 10 ⁻²	1,4 · 10 ⁻³	1,2 · 10 ⁻²	1,1 · 10 ⁻²	1,9 · 10 ⁻³	1,3 · 10 ⁻²
	E [V/m]	0,97	0,42	1,06	1,97	0,73	2,10	2,01	0,85	2,18
	% GW	2,29	0,74	2,41	4,61	1,30	4,79	4,66	1,49	4,89
MS 2.1	S [W/m ²]	2,0 · 10 ⁻⁴	3,5 · 10 ⁻⁴	5,5 · 10 ⁻⁴	1,3 · 10 ⁻³	1,1 · 10 ⁻³	2,4 · 10 ⁻³	1,3 · 10 ⁻³	1,4 · 10 ⁻³	2,6 · 10 ⁻³
	E [V/m]	0,27	0,37	0,46	0,69	0,65	0,95	0,69	0,71	0,99
	% GW	0,65	0,68	0,94	1,63	1,22	2,03	1,63	1,31	2,09
OB 1.1	S [W/m ²]	1,7 · 10 ⁻³	2,9 · 10 ⁻⁶	1,7 · 10 ⁻³	4,4 · 10 ⁻³	2,9 · 10 ⁻⁵	4,5 · 10 ⁻³	5,3 · 10 ⁻³	5,8 · 10 ⁻⁵	5,3 · 10 ⁻³
	E [V/m]	0,79	0,03	0,79	1,29	0,10	1,30	1,41	0,15	1,42
	% GW	1,69	0,05	1,69	2,84	0,17	2,85	3,13	0,24	3,14
OB 2.1	S [W/m ²]	6,0 · 10 ⁻³	1,8 · 10 ⁻⁵	6,0 · 10 ⁻³	1,2 · 10 ⁻²	3,6 · 10 ⁻⁵	1,2 · 10 ⁻²	1,2 · 10 ⁻²	1,1 · 10 ⁻⁴	1,2 · 10 ⁻²
	E [V/m]	1,50	0,08	1,50	2,12	0,12	2,13	2,12	0,20	2,13
	% GW	3,56	0,19	3,56	5,03	0,27	5,04	5,03	0,46	5,05
SI 1.1	S [W/m ²]	1,9 · 10 ⁻³	1,4 · 10 ⁻³	3,3 · 10 ⁻³	4,0 · 10 ⁻³	3,0 · 10 ⁻³	6,9 · 10 ⁻³	7,0 · 10 ⁻³	4,3 · 10 ⁻³	1,1 · 10 ⁻²
	E [V/m]	0,85	0,73	1,12	1,22	1,06	1,62	1,62	1,27	2,06
	% GW	1,56	1,74	2,34	2,28	2,52	3,39	3,01	3,02	4,26

MP	Immission	Minimal			Aktuell			Maximal		
		HSA	NSA	gesamt	HSA	NSA	gesamt	HSA	NSA	gesamt
W 1.3	S [W/m ²]	0	4,1·10 ⁻⁴	4,1·10 ⁻⁴	0	9,5·10 ⁻⁴	9,5·10 ⁻⁴	0	1,7·10 ⁻³	1,7·10 ⁻³
	E [V/m]	0	0,39	0,39	0	0,60	0,60	0	0,80	0,80
	% GW	0	0,70	0,70	0	1,11	1,11	0	1,45	1,45
W 2.3	S [W/m ²]	1,1·10 ⁻³	1,5·10 ⁻⁶	1,1·10 ⁻³	2,4·10 ⁻³	4,9·10 ⁻⁶	2,4·10 ⁻³	4,7·10 ⁻³	4,9·10 ⁻⁶	4,7·10 ⁻³
	E [V/m]	0,64	0,02	0,64	0,95	0,04	0,95	1,34	0,04	1,34
	% GW	1,41	0,06	1,41	2,04	0,10	2,04	2,88	0,10	2,88
W 3.1	S [W/m ²]	9,9·10 ⁻⁴	5,7·10 ⁻⁶	9,9·10 ⁻⁴	2,1·10 ⁻³	1,7·10 ⁻⁵	2,1·10 ⁻³	2,2·10 ⁻³	2,3·10 ⁻⁵	2,2·10 ⁻³
	E [V/m]	0,61	0,05	0,61	0,88	0,08	0,88	0,90	0,09	0,91
	% GW	1,44	0,11	1,44	2,06	0,19	2,07	2,08	0,22	2,09

Tab. 5.1 Detailergebnisse der Immissionen durch Mobilfunk-Sendeanlagen.
 MP = Messpunkt, HSA = Hauptsendeanlage, NSA = Nebensendeanlagen.

In Bild 5.1 ist die Immissionssituation stellvertretend für den „aktuellen Ausbauzustand“ grafisch dargestellt. Der „aktuelle Ausbauzustand“ wird zur besseren Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen aus 2002 gewählt; da damals die Datenbereitstellung durch die Netzbetreiber primär für diesen Ausbauzustand erfolgte. In Bild 5.1 ist die absolute Immissionsgröße (Leistungsflussdichte bzw. Feldstärke) dargestellt. Die grafische Darstellung der Grenzwertausschöpfung erfolgt in einem späteren Abschnitt.

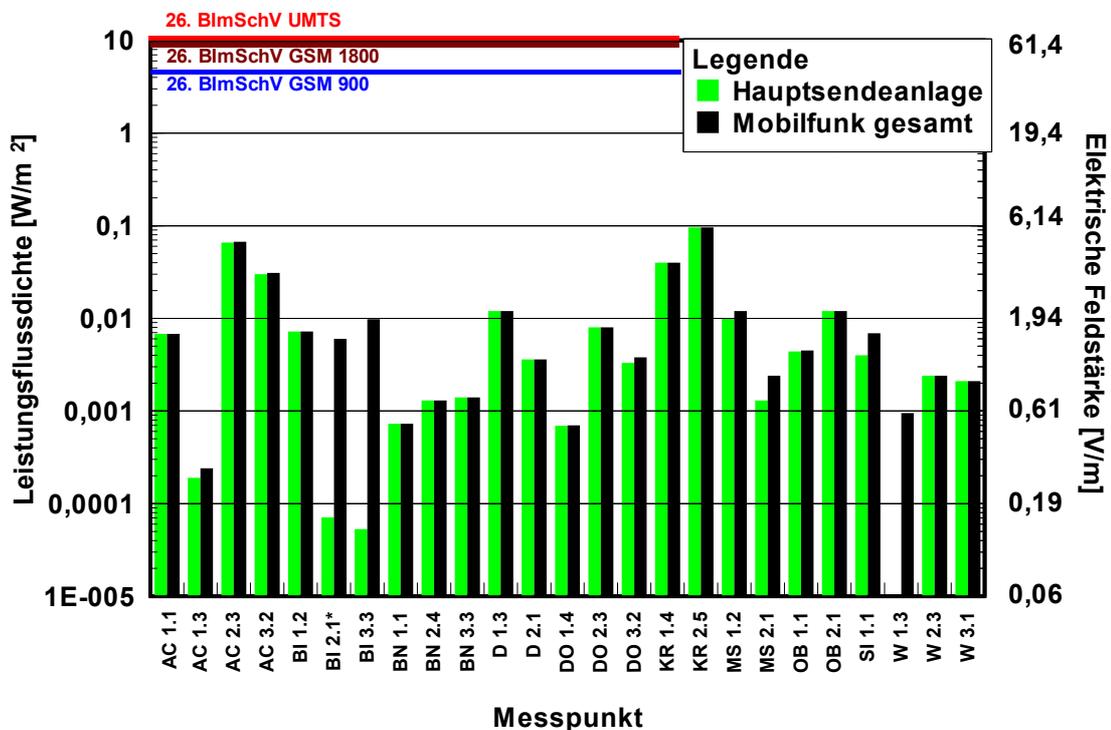


Bild 5.1 Messergebnisse Mobilfunk für den „aktuellen Ausbauzustand“ nach Tabelle 5.1

Wie schon in der Untersuchung von 2002 ist zu erkennen, dass die Gesamtimmission durch Mobilfunk überwiegend durch die Hauptsendeanlage, d.h. die Sendeanlage vor Ort, erzeugt wird. Mit BI 2.1* oder W 1.3 gibt es jedoch auch Ausnahmen, auf die im nächsten Abschnitt genauer eingegangen wird.

Bezüglich Mobilfunk ist der am höchsten exponierte Messpunkt KR 2.5. Hier beträgt die Immission beim aktuellen Ausbauzustand $0,096 \text{ W/m}^2$ (entsprechend $6,0 \text{ V/m}$ bzw. $11,0 \%$ feldstärkebezogene Grenzwertauslastung). Im maximalen Ausbauzustand ist die Immission $0,19 \text{ W/m}^2$ (entsprechend $8,5 \text{ V/m}$ bzw. $15,6 \%$ Grenzwertauslastung). Abweichend hiervon wurde die *höchste Grenzwertausschöpfung* im aktuellen Anlagezustand am MP AC 2.3 gefunden; sie beträgt hier $11,5 \%$.

Der niedrigste Messwert wurde am Messpunkt AC 1.3 ermittelt. Hier beträgt die Immission beim aktuellen Ausbauzustand $0,00024 \text{ W/m}^2$ (entsprechend $0,3 \text{ V/m}$ bzw. $0,7 \%$ feldstärkebezogener Grenzwertauslastung). Im maximalen Ausbauzustand ist die Immission $0,00053 \text{ W/m}^2$ (entsprechend $0,5 \text{ V/m}$ bzw. $1,1 \%$ Grenzwertauslastung).

Die über alle Messpunkte gemittelte Immission beträgt bei aktuellem Ausbauzustand $0,014 \text{ W/m}^2$ (entsprechend $2,3 \text{ V/m}$ bzw. $4,8 \%$ feldstärkebezogene Grenzwertauslastung) und bei maximalem Ausbauzustand $0,023 \text{ W/m}^2$ (entsprechend $2,9 \text{ V/m}$ bzw. $6,1 \%$ Grenzwertauslastung).

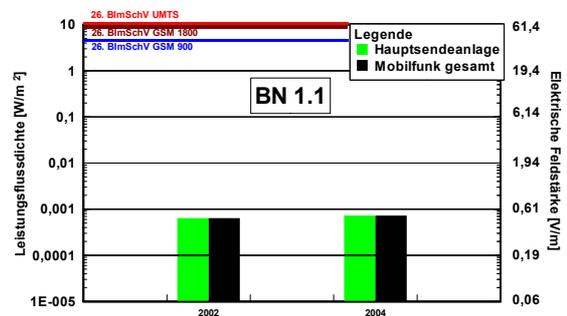
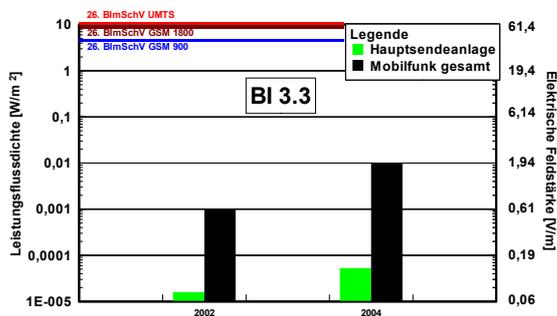
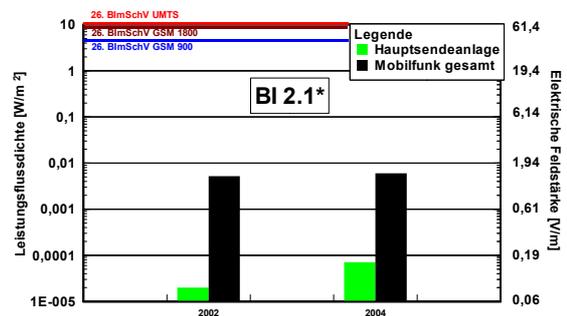
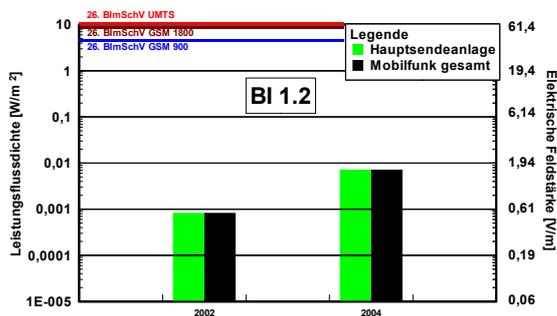
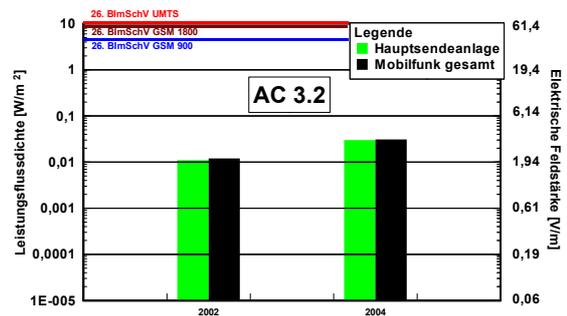
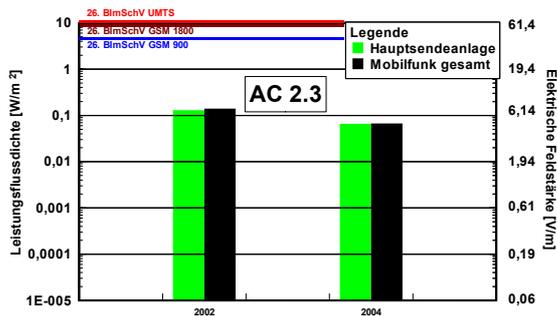
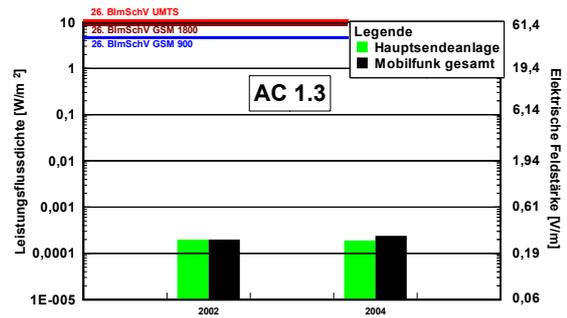
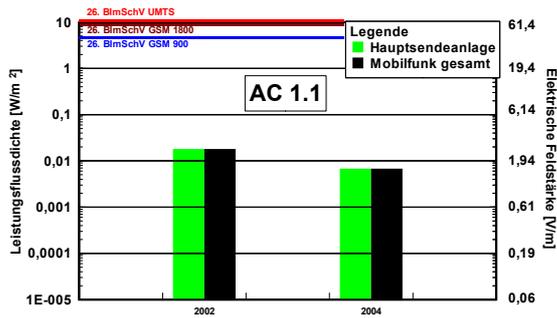
5.1.2 Vergleich zu den Ergebnissen aus 2002

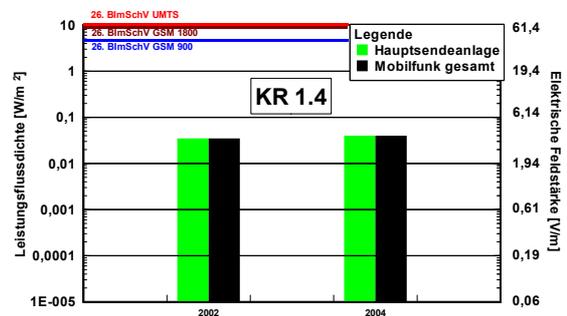
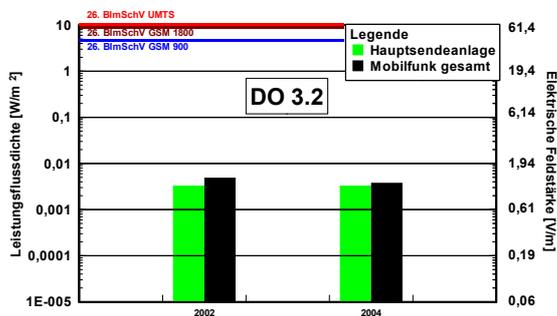
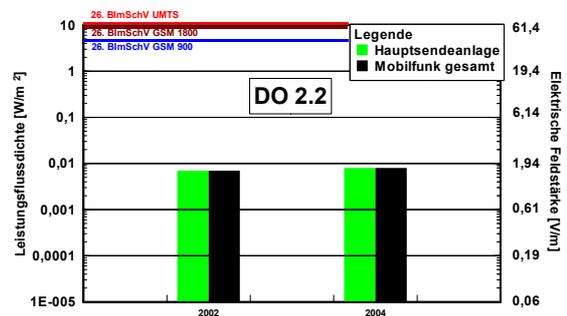
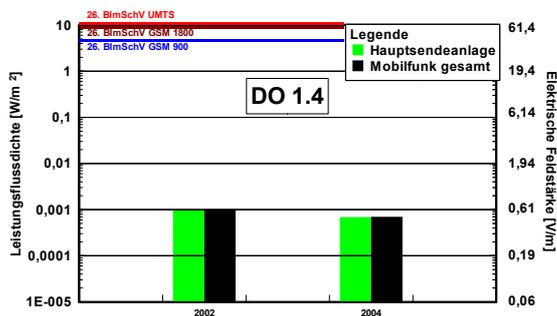
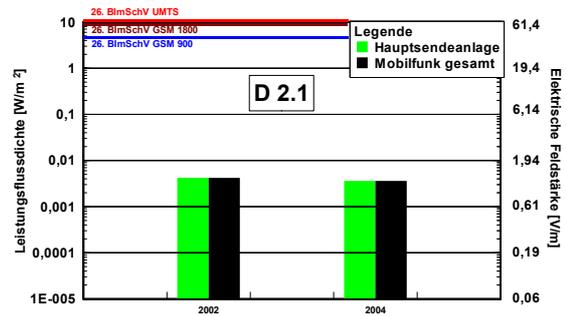
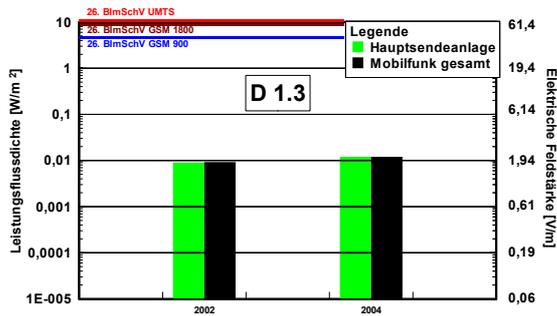
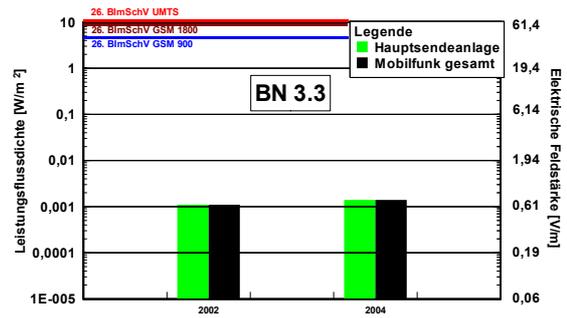
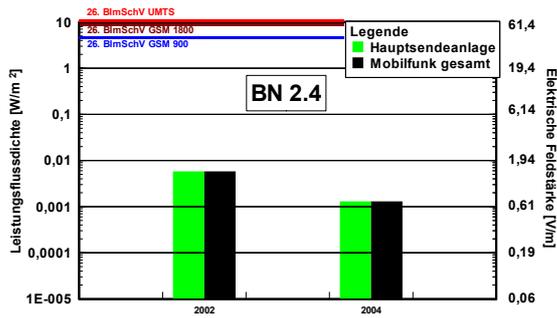
In Tabelle 5.2 werden die im vorigen Abschnitt dargestellten Detailmessergebnisse bezüglich Mobilfunk mit denen aus 2002 verglichen [BOR 02-3]. Die Gegenüberstellung erfolgt anhand des „aktuellen Anlagezustandes“, da die Datenbereitstellung der Netzbetreiber in 2002 für diesen Zustand erfolgte. Die in der letzten beiden Spalten berechnete Veränderung bezieht sich auf die Immission durch Mobilfunk gesamt. Die Veränderung ist dabei sowohl in dB, als auch als (leistungsbezogener) Faktor angegeben. Ein Faktor von 1,0 bedeutet, dass die Immission 2004 gleich der von 2002 ist, ein Faktor 2,0 bedeutet, dass sie sich gegenüber 2002 verdoppelt hat und ein Faktor 0,5, dass sie sich halbiert hat.

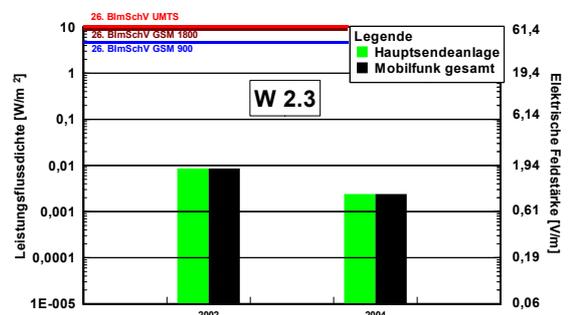
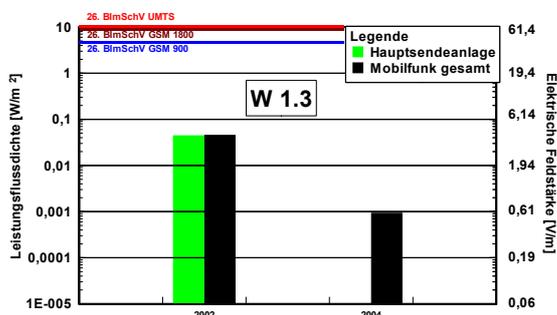
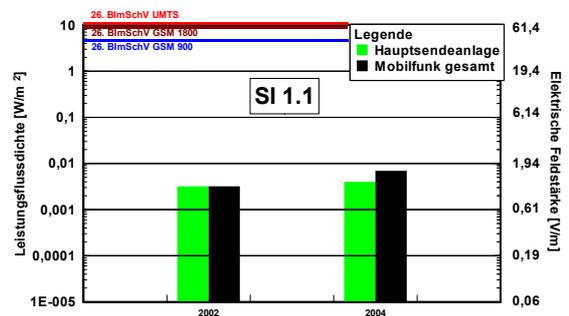
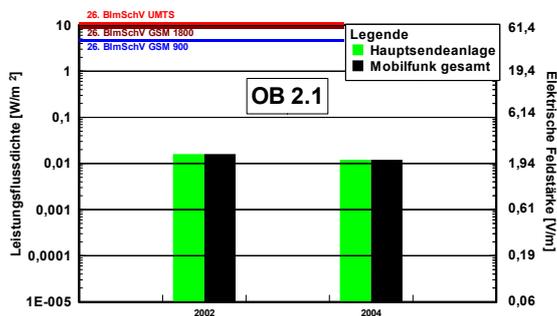
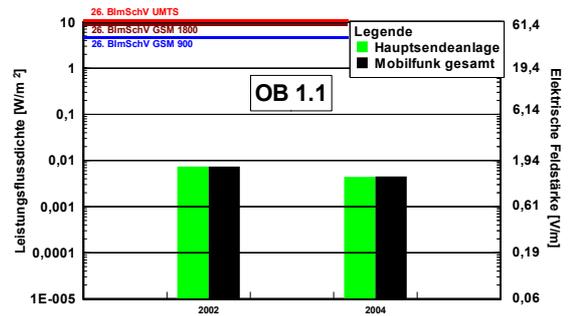
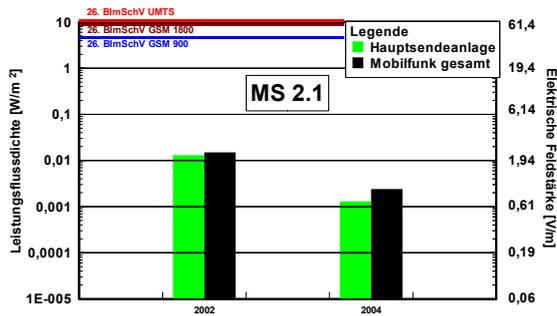
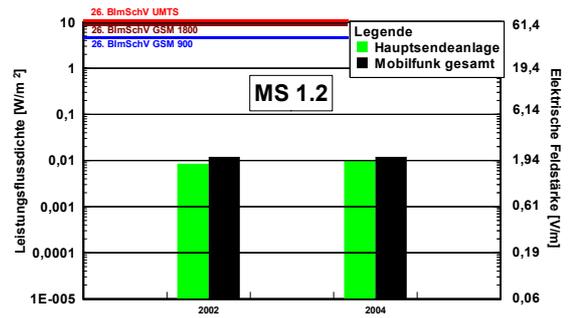
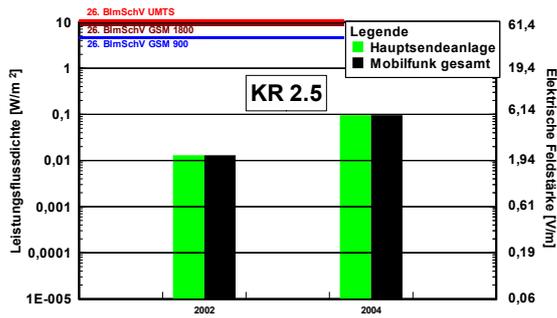
MP	Leistungsflussdichte 2002 [W/m ²]			Leistungsflussdichte 2004 [W/m ²]			Veränderung [dB]	Veränderung (Faktor)
	HSA	NSA	gesamt	HSA	NSA	gesamt		
AC 1.1	1,8·10 ⁻²	0	1,8·10 ⁻²	6,8·10 ⁻³	3,9·10 ⁻⁶	6,8·10 ⁻³	-4,2	0,4
AC 1.3	2,0·10 ⁻⁴	0	2,0·10 ⁻⁴	1,9·10 ⁻⁴	5,2·10 ⁻⁵	2,4·10 ⁻⁴	+0,8	1,2
AC 2.3	1,3·10 ⁻¹	1,3·10 ⁻²	1,4·10 ⁻¹	6,6·10 ⁻²	1,2·10 ⁻³	6,7·10 ⁻²	-3,2	0,5
AC 3.2	1,1·10 ⁻²	8,9·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻²	3,0·10 ⁻²	4,7·10 ⁻⁴	3,1·10 ⁻²	+4,1	2,6
BI 1.2	8,3·10 ⁻⁴	0	8,3·10 ⁻⁴	7,2·10 ⁻³	0	7,2·10 ⁻³	+9,4	8,7
BI 2.1*	2,0·10 ⁻⁵	5,2·10 ⁻³	5,2·10 ⁻³	7,1·10 ⁻⁵	6,0·10 ⁻³	6,0·10 ⁻³	+0,6	1,2
BI 3.3	1,6·10 ⁻⁵	1,0·10 ⁻³	1,0·10 ⁻³	5,3·10 ⁻⁵	9,7·10 ⁻³	9,8·10 ⁻³	+9,9	9,8
BN 1.1	6,4·10 ⁻⁴	0	6,4·10 ⁻⁴	7,3·10 ⁻⁴	0	7,3·10 ⁻⁴	+0,6	1,1
BN 2.4	5,8·10 ⁻³	0	5,8·10 ⁻³	1,3·10 ⁻³	0	1,3·10 ⁻³	-6,5	0,2
BN 3.3	1,1·10 ⁻³	3,0·10 ⁻⁵	1,1·10 ⁻³	1,4·10 ⁻³	3,2·10 ⁻⁵	1,4·10 ⁻³	+1,0	1,3
D 1.3	9,0·10 ⁻³	1,6·10 ⁻⁴	9,2·10 ⁻³	1,2·10 ⁻²	1,9·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻²	+1,2	1,3
D 2.1	4,2·10 ⁻³	0	4,2·10 ⁻³	3,6·10 ⁻³	5,3·10 ⁻⁶	3,6·10 ⁻³	-1,5	0,9
DO 1.4	1,0·10 ⁻³	3,2·10 ⁻⁵	1,0·10 ⁻³	6,9·10 ⁻⁴	1,7·10 ⁻⁵	7,0·10 ⁻⁴	+0,4	0,7
DO 2.3	7,0·10 ⁻³	4,0·10 ⁻⁵	7,0·10 ⁻³	8,0·10 ⁻³	1,0·10 ⁻⁵	8,0·10 ⁻³	+0,6	1,1
DO 3.2	3,3·10 ⁻³	1,6·10 ⁻³	4,9·10 ⁻³	3,3·10 ⁻³	4,9·10 ⁻⁴	3,8·10 ⁻³	-1,1	0,8
KR 1.4	3,5·10 ⁻²	0	3,5·10 ⁻²	4,0·10 ⁻²	1,3·10 ⁻⁵	4,0·10 ⁻²	+0,6	1,1
KR 2.5	1,3·10 ⁻²	2,4·10 ⁻⁵	1,3·10 ⁻²	9,6·10 ⁻²	1,2·10 ⁻⁵	9,6·10 ⁻²	+8,7	7,4
MS 1.2	8,5·10 ⁻³	3,2·10 ⁻³	1,2·10 ⁻²	1,0·10 ⁻²	1,4·10 ⁻³	1,2·10 ⁻²	0,0	1,0
MS 2.1	1,3·10 ⁻²	1,7·10 ⁻³	1,5·10 ⁻²	1,3·10 ⁻³	1,1·10 ⁻³	2,4·10 ⁻³	-8,0	0,2
OB 1.1	7,4·10 ⁻³	0	7,4·10 ⁻³	4,4·10 ⁻³	2,9·10 ⁻⁵	4,5·10 ⁻³	-2,2	0,6
OB 2.1	1,6·10 ⁻²	0	1,6·10 ⁻²	1,2·10 ⁻²	3,6·10 ⁻⁵	1,2·10 ⁻²	-1,2	0,8
SI 1.1	3,2·10 ⁻³	0	3,2·10 ⁻³	4,0·10 ⁻³	3,0·10 ⁻³	6,9·10 ⁻³	+3,3	2,2
W 1.3	4,5·10 ⁻²	7,2·10 ⁻⁴	4,6·10 ⁻²	0	9,5·10 ⁻⁴	9,5·10 ⁻⁴	-16,9	0,0
W 2.3	8,6·10 ⁻³	0	8,6·10 ⁻³	2,4·10 ⁻³	4,9·10 ⁻⁶	2,4·10 ⁻³	-5,5	0,3
W 3.1	2,0·10 ⁻³	0	2,0·10 ⁻³	2,1·10 ⁻³	1,7·10 ⁻⁵	2,1·10 ⁻³	+0,2	1,1

Tab. 5.2 Vergleich der Messergebnisse Mobilfunk zu den Ergebnissen aus 2002, aktueller Ausbauzustand

In Bild 5.2 ist für jeden einzelnen Messpunkt der Vergleich grafisch dargestellt.







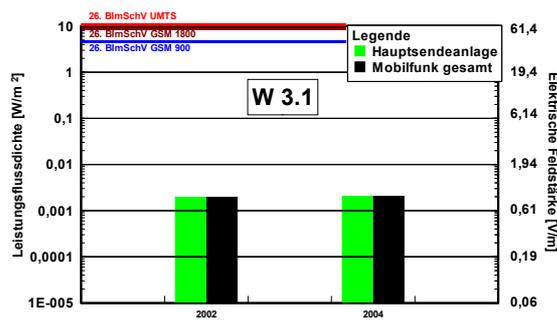


Bild 5.2 Grafischer Vergleich der Messergebnisse 2002 und 2004 bezüglich Mobilfunk, aktueller Ausbauzustand

Der Vergleich der Mobilfunk-Messergebnisse des Jahres 2004 mit denen des Jahres 2002 ergibt, dass die Immissionen an relativ vielen Messpunkten nahezu unverändert geblieben sind. Dies spricht für eine hohe Reproduzierbarkeit der eingesetzten Messmethode.

Es gibt jedoch auch einige deutliche Veränderungen sowohl nach oben, als auch nach unten. Diese werden im folgenden kurz diskutiert. Veränderungen im Bereich von etwa ± 3 dB (entsprechend einem Faktor von etwa 0,5 bis 2,0) werden dabei außer Acht gelassen, da sie im Bereich der Messunsicherheit liegen. Abweichungen größer 6 dB (entsprechend einem Faktor von kleiner 0,25 bzw. größer 4) werden als signifikant eingestuft.

Im folgenden werden einige markante Messpunkte aufgegriffen und versucht, Immissionsveränderungen mit eventuellen baulichen Veränderungen (Anlage wurde gegenüber 2002 in ihrer Lage verändert oder Sektorausrichtung wurde verändert) oder technischen Veränderungen (Anzahl der Sendekanäle hat sich gegenüber 2002 verändert, Aufrüstung durch UMTS) in Beziehung zu setzen.

- **AC 1.1:** Die Immission hat sich hier etwas verringert (-4,2 dB, Faktor 0,4). Beim Vergleich der Anlagedaten wurde festgestellt, dass sich die Kanalzahl der Anlage verringert hat; die horizontale Ausrichtung der einzelnen Sektoren ist dagegen gleich geblieben.
- **AC 3.2:** Die Immission hat sich hier etwas erhöht (+4,1 dB, Faktor 2,6). Die Sektorausrichtung ist gleich geblieben. An dieser Anlage ist zwar mittlerweile UMTS hinzugekommen, doch trägt dieses System in der Gesamtbilanz nur zu einem relativ geringen Teil zur Immissionserhöhung bei. Die Antennentypen der GSM-Systeme sind unverändert geblieben.
- **BI 1.2:** Die Immission hat sich hier deutlich erhöht (+9,4 dB, Faktor 8,7). An dieser Anlage ist mittlerweile ein UMTS-System hinzugekommen, das bezüglich der Immissionen nahezu den Wert der GSM-Immissionen erreicht. Allerdings ist auch bereits der Anteil der GSM-Immissionen wesentlich höher als 2002. Die Sektorausrichtung der die Immissionen am Messpunkt maßgeblich beeinflussenden Antennen hingegen ist nach Betreiberaussage gegenüber 2002 unverändert geblieben.
- **BI 2.1*:** Obwohl mit diesem Messpunkt ein gegenüber 2002 veränderter Messpunkt gewählt werden musste (ursprüngliches Hochhaus als Anlagenstandort aus 2002 existiert nicht mehr, neuer Messpunkt in benachbartem Hochhaus), hat sich die Gesamtmission mit +0,6 dB (Faktor 1,1) nahezu nicht verändert. Der neue Messpunkt ist offensichtlich

bezüglich umliegender Sendeanlagen vergleichbar mit dem ursprünglichen Messpunkt BI 2.1 aus 2002.

- **BI 3.3:** Die Immission hat sich hier vor allem seitens der Nebensendeanlagen deutlich erhöht (+9,9 dB, Faktor 9,8). Offensichtlich sind mehr Anlagen im Umkreis hinzugekommen oder deren Ausbauzustand wurde erhöht. UMTS trägt ebenfalls deutlich zur Erhöhung bei. Bezüglich der HSA (+5,2 dB, Faktor 3,3) ist die Sektorausrichtung gleich geblieben. Auch die Kanalzahl des den Messpunkt maßgeblich beeinflussenden Sektors blieb unverändert.
- **BN 2.4:** Die Immission durch die HSA ist deutlich gesunken (-6,5 dB, Faktor 0,2). Beim Vergleich der Anlagedaten wurde festgestellt, dass sich die Sektorausrichtung der Anlage verändert hat. Allerdings ist hier gegenüber 2002 ein UMTS-System hinzugekommen, das aber geringere Immissionen erzeugt als das GSM-System.
- **KR 2.5:** Die Immission durch die HSA hat sich deutlich erhöht (+8,7 dB, Faktor 7,4). Diese Erhöhung ist hauptsächlich auf das hinzugekommene UMTS-System zurückzuführen.
- **MS 2.1:** Die Immission durch die HSA ist deutlich gesunken (-10,7 dB, Faktor 0,08), wo hingegen sich die Immissionen durch die NSA nur geringfügig verringert hat (+1,5 dB, Faktor 1,4). Die Hauptsendeanlage eines der beiden Netzbetreiber am Anlagenstandort wurde 2002 vom Anlagenstandort abgebaut, wodurch die deutliche Veränderung der Immission durch die HSA erklärbar ist.
- **W 1.3:** Die Hauptsendeanlage, die 2002 von der Firma Mobilcom aufgebaut wurde, ist nicht mehr aktiv. Die Immission durch umliegende Mobilfunkanlagen ist nahezu unverändert geblieben.
- **W 2.3:** Die Immission durch die HSA hat sich verringert (-5,5 dB, Faktor 0,3). Beim Vergleich der Anlagedaten wurde festgestellt, dass sowohl die Kanalzahl der Anlage, als auch die horizontale Ausrichtung der einzelnen Sektoren gleich geblieben ist. Allerdings hat sich die Art der eingesetzten Antennen verändert. Außerdem wurde die Anlage mit einem UMTS-System aufgerüstet, das aber am Messpunkt eine im Vergleich zu GSM geringere Immission erzeugt.

Bezüglich eines Vergleichs der Messwerte beider Messreihen sind auch folgende generelle Punkte in die Betrachtungen einzubeziehen:

- In [BOR 02-3] ist der Downtiltwinkel (Abwärtsneigung der Antenne) als wichtiger Einflussparameter für die Größe der ortsbezogenen Immission identifiziert worden. Eine Veränderung des Downtiltwinkels um wenige Grad kann darüber entscheiden, ob der Messpunkt direkt in einer Strahlungskeule liegt oder außerhalb. Das kann zu Immissionsveränderungen von einigen dB führen, d.h. in der Größenordnung, wie an den oben aufgeführten Messpunkten. Der Downtiltwinkel kann in der Regel ohne Neubeantragung einer Standortbescheinigung geändert werden, da die Anlage für einen Downtiltwinkelbereich beantragt wird und die Berechnung des Sicherheitsabstandes seitens der RegTP für den ungünstigsten (d.h. immissionsstärksten) Downtiltwinkel erfolgt.
- Gegenüber 2002 sind in den letzten Monaten viele Standorte mit UMTS aufgerüstet worden. Hierbei hat sich zwar nicht unbedingt die Sektorausrichtung geändert (dies wurde bei der Auswertung überprüft), aber es kann dabei bezüglich der GSM-Antennen zu einer Veränderung des Antennentyps (Modernisierung) oder auch der Montagehöhe gekommen

sein. Beide Parameter sind in [BOR 02-3] als Einflussparameter für die ortsbezogene Immission identifiziert worden. Eine Variation dieser Parameter kann Immissionsveränderungen in der Größenordnung hervorrufen, wie an den Messpunkten beobachtet.

- Von den Betreibern werden in regelmäßigen Abständen Frequenzplanwechsel durchgeführt. Das bedeutet, dass die einzelnen Sendefrequenzen zur Zeit der Messungen in 2004 nicht unbedingt identisch zu denen aus 2002 waren. Sowohl die Verstärkung der Sendeleistungsverstärker, als auch die Abstrahlung der Sendeantennen sind in gewissem Maße frequenzabhängig. Hierdurch können sich hier unter Umständen geringfügige Unterschiede bei der Messung zu unterschiedlichen Zeitpunkten ergeben.
- Die Messreihen wurden zu unterschiedlichen Jahreszeiten durchgeführt (Studie 2002 – Frühjahr, vorliegende Messungen 2004 – Herbst). Veränderungen seitens der Vegetation in relevanten Ausbreitungspfaden (Vegetation direkt zwischen Sendeanlage und Messpunkt oder starke Reflexionen an Vegetation) kann für eine Veränderung in den Immissionen am Messpunkt verantwortlich sein.
- Von den oben aufgeführten Messpunkten sind die Messpunkte AC 1.1, AC 3.2, BI 3.3, BN 2.4, KR 2.5, MS 2.1 und W 3.1 Innenmesspunkte. Bei Innenmesspunkten ist prinzipiell immer die Gefahr gegeben, dass sich durch Umstellung von Mobiliar auch die räumliche Feldverteilung mit ihren Minima und Maxima ändert. Zwar wird dies zu einem wesentlichen Teil durch die eingesetzte Messmethodik (Schwenkmethode mit Maximalwertsuche) abgefangen, jedoch kann es unter Umständen möglich sein, dass sich in Ausnahmefällen durch Mobiliarveränderungen auch Veränderungen im Messwert ergeben.

5.1.3 Gegenüberstellung GSM und UMTS

5.1.3.1 *Derzeitige Immissionssituation*

Ein Kernpunkt der vorliegenden Messreihe war es herauszufinden, ob sich die Immissionssituation durch die Einführung des UMTS-Systems entscheidend verändert hat. Zusätzlich zu den im letzten Abschnitt durchgeführten Betrachtungen soll sich dieser Abschnitt deswegen auf einen detaillierten Vergleich zwischen GSM und UMTS-Immissionen an identischen Messpunkten konzentrieren.

In Tabelle 5.3 werden an allen Messpunkten die absoluten Immissionsanteile durch GSM und UMTS dargestellt, unabhängig davon, ob sie von der Hauptsendeanlage oder von umliegenden Sendeanlagen stammen. Im Bild 5.3 ist stellvertretend der Vergleich für den aktuellen Ausbauzustand grafisch abgebildet.

Vor einem Vergleich der Immissionswerte soll auf folgenden interessanten Aspekt hingewiesen werden, der sich aus Tabelle 5.3 ergibt: Das Verhältnis zwischen maximaler Immission im aktuellen Ausbauzustand und minimaler Immission (Grundlast durch Signalisierungskanäle) beträgt bei UMTS entsprechend dem Verhältnis von maximaler Leistung eines Kanals zur Leistung des CPICH-Kanals konstant ein Faktor 10 (leistungsbezogen). Bei GSM hingegen ist der Faktor von Anlage zu Anlage verschieden und beträgt für die hier betrachteten Messpunkte im Mittel 2,3 (d.h. im Mittel sind die Anlagen mit 2,3 Kanälen im aktuellen Ausbauzustand ausgerüstet). Anders ausgedrückt heißt dies, dass bei UMTS der Anteil der durch die Signalisierung bestimmten minimalen Immission im Verhältnis zur maximalen Sendeleistung einer Station sehr viel geringer ist als bei GSM (an den hier untersuchten Messpunkten

UMTS 10 %, GSM 43 % leistungsbezogen). Da GSM und UMTS-Anlagen in etwa über vergleichbare Sendeleistungen verfügen, deutet dieser Aspekt auf eine geringere „Grundbelastung“ durch UMTS im Vergleich zu GSM hin.

MP	Immission	Minimal		Aktuell		Maximal	
		GSM	UMTS	GSM	UMTS	GSM	UMTS
AC 1.1	S [W/m ²]	3,4·10 ⁻³	0	6,8·10 ⁻³	0	1,4·10 ⁻²	0
	E [V/m]	1,13	0	1,60	0	2,26	0
	% GW	2,67	0	3,78	0	5,35	0
AC 1.3	S [W/m ²]	1,2·10 ⁻⁴	0	2,4·10 ⁻⁴	0	5,3·10 ⁻⁴	0
	E [V/m]	0,21	0	0,30	0	0,45	0
	% GW	0,51	0	0,71	0	1,05	0
AC 2.3	S [W/m ²]	2,6·10 ⁻²	5,9·10 ⁻⁴	6,1·10 ⁻²	5,9·10 ⁻³	1,0·10 ⁻¹	1,2·10 ⁻²
	E [V/m]	3,13	0,47	4,80	1,49	6,25	2,11
	% GW	7,30	0,78	11,22	2,45	14,59	3,47
AC 3.2	S [W/m ²]	1,2·10 ⁻²	1,4·10 ⁻⁵	3,1·10 ⁻²	1,4·10 ⁻⁴	4,7·10 ⁻²	2,7·10 ⁻⁴
	E [V/m]	2,11	0,07	3,41	0,23	4,23	0,32
	% GW	4,97	0,12	8,03	0,37	9,95	0,53
BI 1.2	S [W/m ²]	2,4·10 ⁻³	2,6·10 ⁻⁴	4,6·10 ⁻³	2,6·10 ⁻³	1,0·10 ⁻²	5,3·10 ⁻³
	E [V/m]	0,95	0,31	1,32	1,00	1,94	1,41
	% GW	2,20	0,52	3,09	1,63	4,45	2,31
BI 2.1	S [W/m ²]	2,2·10 ⁻³	2,9·10 ⁻⁵	5,7·10 ⁻³	2,9·10 ⁻⁴	7,0·10 ⁻³	5,7·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,92	0,10	1,47	0,33	1,63	0,46
	% GW	1,93	0,17	3,16	0,54	3,56	0,76
BI 3.3	S [W/m ²]	5,5·10 ⁻³	2,2·10 ⁻⁴	7,6·10 ⁻³	2,2·10 ⁻³	2,2·10 ⁻²	4,4·10 ⁻³
	E [V/m]	1,44	0,29	1,69	0,91	2,88	1,28
	% GW	2,84	0,47	3,53	1,49	5,67	2,10
BN 1.1	S [W/m ²]	3,2·10 ⁻⁴	8,8·10 ⁻⁶	6,4·10 ⁻⁴	8,8·10 ⁻⁵	1,3·10 ⁻³	1,7·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,35	0,06	0,49	0,18	0,70	0,26
	% GW	0,60	0,09	0,85	0,30	1,21	0,42
BN 2.4	S [W/m ²]	6,0·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻⁵	1,2·10 ⁻³	1,2·10 ⁻⁴	2,4·10 ⁻³	2,5·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,48	0,07	0,67	0,22	0,95	0,31
	% GW	1,13	0,11	1,60	0,35	2,26	0,50
BN 3.3	S [W/m ²]	7,1·10 ⁻⁴	1,1·10 ⁻⁶	1,4·10 ⁻³	1,1·10 ⁻⁵	1,4·10 ⁻³	2,2·10 ⁻⁵
	E [V/m]	0,52	0,02	0,73	0,06	0,73	0,09
	% GW	0,88	0,63	1,25	0,11	1,26	0,15

MP	Immission	Minimal		Aktuell		Maximal	
		GSM	UMTS	GSM	UMTS	GSM	UMTS
D 1.3	S [W/m ²]	5,8·10 ⁻³	9,5·10 ⁻⁶	1,2·10 ⁻²	9,5·10 ⁻⁵	2,3·10 ⁻²	1,9·10 ⁻⁴
	E [V/m]	1,48	0,06	2,10	0,19	2,97	0,27
	% GW	2,52	0,10	3,56	0,31	5,03	0,44
D 2.1	S [W/m ²]	1,2·10 ⁻³	3,8·10 ⁻⁵	3,3·10 ⁻³	3,8·10 ⁻⁴	6,5·10 ⁻³	7,7·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,67	0,12	1,11	0,38	1,57	0,54
	% GW	1,48	0,20	2,50	0,62	3,54	0,88
DO 1.4	S [W/m ²]	4,3·10 ⁻⁴	2,6·10 ⁻⁵	4,4·10 ⁻⁴	2,6·10 ⁻⁴	1,7·10 ⁻³	5,2·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,40	0,10	0,41	0,31	0,81	0,44
	% GW	0,69	0,16	0,70	0,51	1,37	0,73
DO 2.3	S [W/m ²]	4,3·10 ⁻³	1,4·10 ⁻⁵	7,9·10 ⁻³	1,4·10 ⁻⁴	1,4·10 ⁻²	4,0·10 ⁻⁴
	E [V/m]	1,28	0,07	1,73	0,23	2,31	0,39
	% GW	2,73	0,12	3,86	0,38	5,14	0,64
DO 3.2	S [W/m ²]	1,8·10 ⁻³	1,8·10 ⁻⁵	3,6·10 ⁻³	1,8·10 ⁻⁴	4,1·10 ⁻³	3,7·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,83	0,08	1,17	0,26	1,24	0,37
	% GW	1,66	0,14	2,34	0,43	2,44	0,61
KR 1.4	S [W/m ²]	9,9·10 ⁻³	5,9·10 ⁻⁶	4,0·10 ⁻²	5,9·10 ⁻⁵	4,0·10 ⁻²	1,2·10 ⁻⁴
	E [V/m]	1,93	0,05	3,87	0,15	3,87	0,21
	% GW	4,57	0,08	9,13	0,24	9,13	0,35
KR 2.5	S [W/m ²]	1,1·10 ⁻²	7,3·10 ⁻³	2,2·10 ⁻²	7,3·10 ⁻²	4,5·10 ⁻²	1,5·10 ⁻¹
	E [V/m]	2,06	1,66	2,92	5,25	4,13	7,42
	% GW	4,88	2,72	6,90	8,60	9,76	12,16
MS 1.2	S [W/m ²]	2,9·10 ⁻³	3,9·10 ⁻⁵	1,1·10 ⁻²	3,9·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻²	7,8·10 ⁻⁴
	E [V/m]	1,05	0,12	2,06	0,38	2,11	0,54
	% GW	2,40	0,20	4,75	0,63	4,81	0,89
MS 2.1	S [W/m ²]	5,5·10 ⁻⁴	3,8·10 ⁻⁶	2,3·10 ⁻³	3,8·10 ⁻⁵	2,5·10 ⁻³	7,6·10 ⁻⁵
	E [V/m]	0,45	0,04	0,94	0,12	0,98	0,17
	% GW	0,94	0,06	2,02	0,19	2,07	0,28
OB 1.1	S [W/m ²]	1,6·10 ⁻³	2,9·10 ⁻⁶	4,4·10 ⁻³	2,9·10 ⁻⁵	5,3·10 ⁻³	5,8·10 ⁻⁵
	E [V/m]	0,79	0,03	1,29	0,10	1,41	0,15
	% GW	1,69	0,05	2,84	0,17	3,13	0,24
OB 2.1	S [W/m ²]	6,0·10 ⁻³	0	1,2·10 ⁻²	0	1,2·10 ⁻²	0
	E [V/m]	1,50	0	2,13	0	2,13	0
	% GW	3,56	0	5,04	0	5,05	0

MP	Immission	Minimal		Aktuell		Maximal	
		GSM	UMTS	GSM	UMTS	GSM	UMTS
SI 1.1	S [W/m ²]	3,3·10 ⁻³	0	6,9·10 ⁻³	0	1,1·10 ⁻²	0
	E [V/m]	1,12	0	1,62	0	2,06	0
	% GW	2,34	0	3,39	0	4,26	0
W 1.3	S [W/m ²]	4,1·10 ⁻⁴	2,6·10 ⁻⁶	9,2·10 ⁻⁴	2,6·10 ⁻⁵	1,6·10 ⁻³	5,2·10 ⁻⁵
	E [V/m]	0,39	0,03	0,59	0,10	0,79	0,14
	% GW	0,70	0,05	1,09	0,16	1,43	0,23
W 2.3	S [W/m ²]	1,1·10 ⁻³	2,3·10 ⁻⁵	2,1·10 ⁻³	2,3·10 ⁻⁴	4,3·10 ⁻³	4,7·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,63	0,09	0,90	0,30	1,27	0,42
	% GW	1,40	0,15	1,99	0,49	2,80	0,69
W 3.1	S [W/m ²]	9,8·10 ⁻⁴	1,0·10 ⁻⁵	1,8·10 ⁻³	1,0·10 ⁻⁴	2,0·10 ⁻³	2,0·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,61	0,06	0,86	0,20	0,86	0,28
	% GW	1,44	0,10	2,04	0,32	2,04	0,45

Tab. 5.3 Detaillierergebnisse des Immissionsvergleichs GSM – UMTS, Mobilfunk gesamt

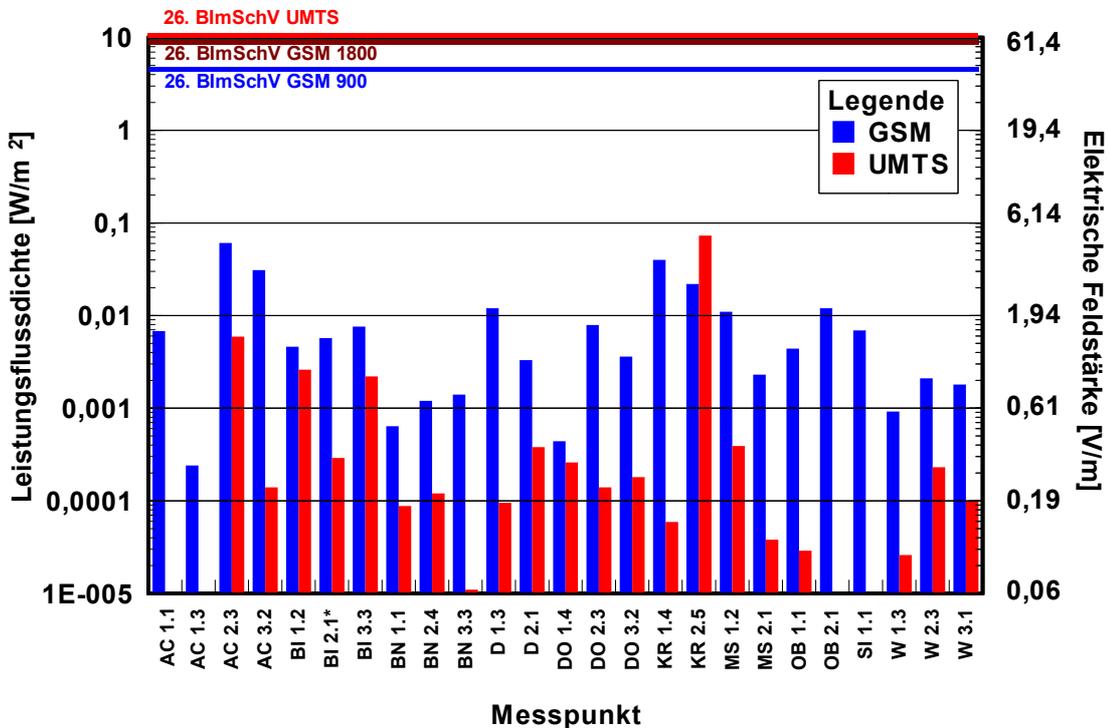


Bild 5.3 Vergleich GSM und UMTS, Mobilfunk gesamt, aktueller Ausbaustand

Bild 5.3 liefert eine detaillierte Betrachtung des *Istzustandes* zu dem Zeitraum, in dem die Messungen durchgeführt wurden. Die Darstellung zeigt, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt offensichtlich die UMTS-Immissionen an den Messpunkten im Mittel nur eine untergeordnete

Rolle spielen. An lediglich einem Messpunkt (KR 2.5) dominiert UMTS gegenüber GSM; an allen anderen Messpunkten ist die Immission durch GSM stärker als durch UMTS.

Aus diesem Ergebnis wäre es jedoch voreilig abzuleiten, dass *generell* die Immissionen durch UMTS-Anlagen im Mittel geringer seien als durch GSM-Anlagen. Dies ist deswegen unzulässig, da sich das UMTS-Netz derzeit mitten im Aufbau befindet, wohingegen das GSM-Netz flächendeckend aufgebaut ist und nur in einigen Schwerpunktregionen punktuell ausgebaut wird. Bei vorliegenden Untersuchungen spiegelte sich dieser Fakt darin wieder, dass UMTS noch nicht an allen Hauptsendeanlagen parallel zu GSM installiert war.

In wie weit bereits jetzt Aussagen über die Immissionsverhältnisse bei zukünftigeren Ausbauständen des UMTS-Netzes getroffen werden können, soll ein systematischer Vergleich der Immissionen im nächsten Abschnitt zeigen.

5.1.3.2 Systematischer Vergleich zwischen GSM und UMTS-Immissionen

In diesem Abschnitt soll gewissermaßen ein Blick „in die Zukunft“ getätigt werden, da es unbefriedigend ist, derzeitigen Immissionsmessungen in der Umgebung von UMTS-Anlagen mit Verweis auf den geringen Aufbauzustand des UMTS-Netzes die Relevanz abzusprechen.

Die Idee besteht nun darin, in erster Näherung anzunehmen, dass in einem zukünftig angestrebten Ausbaustand des UMTS-Netzes mindestens an jedem GSM-Standort auch eine UMTS-Anlage errichtet wird.

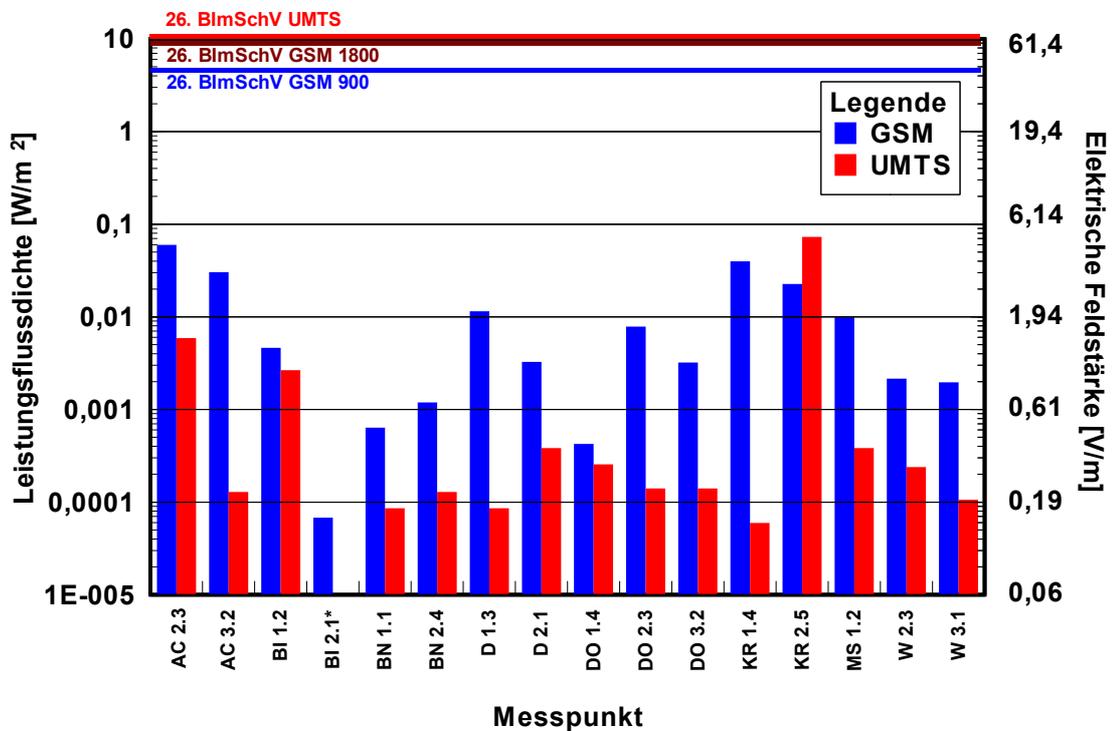


Bild 5.4 Vergleich GSM und UMTS für diejenigen Standorte, an denen bei der HSA neben GSM auch UMTS installiert ist, nur HSA, aktueller Ausbaustand

Ein systematischer Vergleich zwischen GSM- und UMTS-Immissionen kann dann so erfolgen, dass in eine Betrachtung nur diejenigen Standorte der Messungen einbezogen werden, an denen seitens der Hauptsendeanlage GSM und gleichzeitig UMTS in Betrieb war. Dies ist in Bild 5.4 geschehen. Hierbei werden nur Immissionen der Hauptsendeanlage berücksichtigt. Dies ist deswegen gerechtfertigt, da es hier nicht um eine Erfassung der Gesamt-Immissionssituation geht, sondern um einen systematischen Vergleich hinsichtlich des Verhältnisses von GSM und UMTS-Immissionen.

Letztlich ist aber auch dieser Vergleich noch verzerrt, da gerade im Fall von mehrfach genutzten Standorten im derzeitigen Stadium nicht pauschal angenommen werden kann, dass der UMTS-Aufbauzustand mit dem GSM-Aufbauzustand vergleichbar ist. Zum Beispiel könnte Betreiber A bei der Hauptsendeanlage eine GSM- und eine UMTS-Station betreiben und Betreiber B nur eine GSM-Station. Nähme man der Einfachheit halber an, dass die Leistungen, Antennen und deren Ausrichtungen bei allen Anlagen vergleichbar wären, würde bereits dies am Messpunkt zu einer Dominanz der GSM-Immissionen führen, woraus sich aber nicht schlussfolgern ließe, dass bei einem gleichwertig mit GSM und UMTS ausgerüsteten Standort *immer* die Immissionen durch GSM überwiegen.

Für einen systematischen Vergleich ist es deswegen sinnvoll, nur diejenigen Anlagen in die Untersuchungen einzubeziehen, die bezüglich GSM und UMTS tatsächlich *vergleichbar* sind. Das bedeutet, dass hierbei nur diejenigen Systeme berücksichtigt werden, bei denen ein Betreiber sowohl eine GSM-Installation, als auch eine UMTS-Installation hat. Alle anderen Immissionen (von umliegenden Stationen sowie von alleinigen GSM-Anteilen der HSA) werden ausgeblendet. Aus einem Vergleich dieser Konfiguration ließe sich dann untersuchen, ob es Trends hinsichtlich der UMTS- bzw. GSM-Feldverteilung an einem Standort gibt, bei dem gleichzeitig beide Systeme installiert sind.

Dies ist in Bild 5.5 für den „aktuellen Ausbauzustand“, d.h. einem Frequenzkanal pro Betreiber für UMTS, geschehen: Der Vergleich erfolgt hier nur für die Immissionen der Hauptsendeanlage und nur für diejenigen Betreiber, die gleichzeitig beide Systeme in Betrieb haben. Sofern an einem Standort mehrere Betreiber gleichzeitig GSM und UMTS betreiben, sind die Beiträge der einzelnen Betreiber mit a, b, c usw. durchnummeriert.

Da der Grenzwert bei UMTS aufgrund der höheren Frequenz größer ist als bei GSM 900 bzw. GSM 1800, ist in Bild 5.6 die relative Grenzwertausschöpfung für die Ergebnisse aus Bild 5.5 dargestellt.

Bild 5.7 bzw. 5.8 zeigen die sich ergebenden Immissionsverhältnisse für den „maximalen Ausbauzustand“, d.h. zwei Frequenzkanäle pro Betreiber bezüglich UMTS.

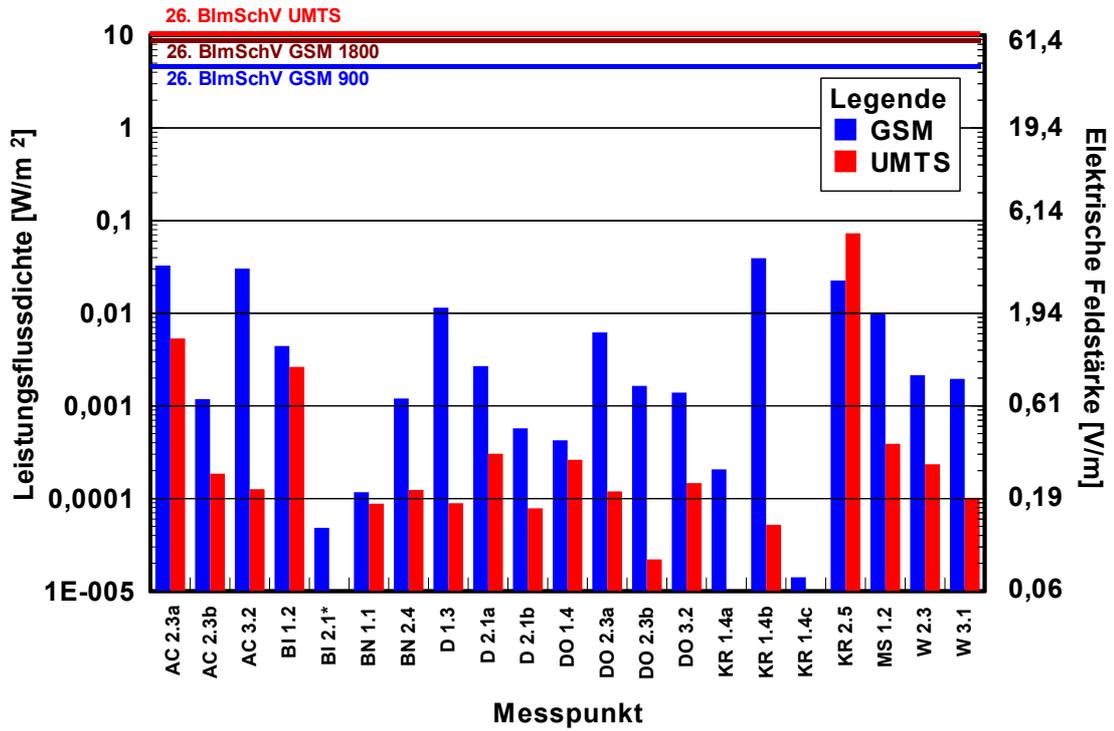


Bild 5.5 Vergleich GSM - UMTS, absolute Immission, nur Hauptsendeanlage eines Betreibers, *aktueller* Ausbautzustand

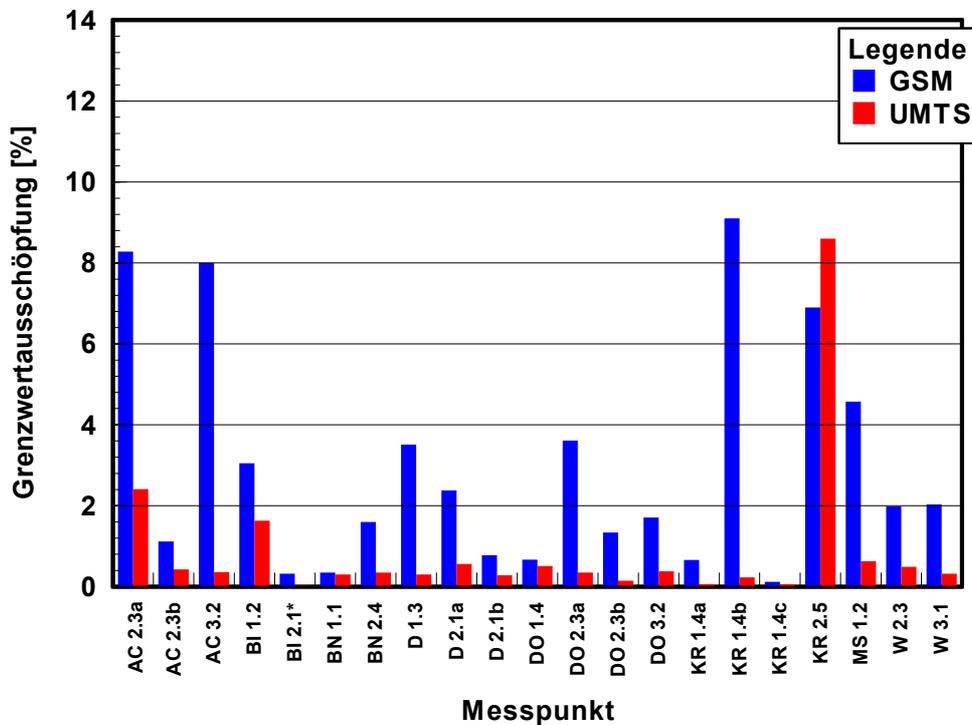


Bild 5.6 Vergleich GSM - UMTS, relative Grenzwertausschöpfung, nur Hauptsendeanlage eines Betreibers, *aktueller* Ausbautzustand

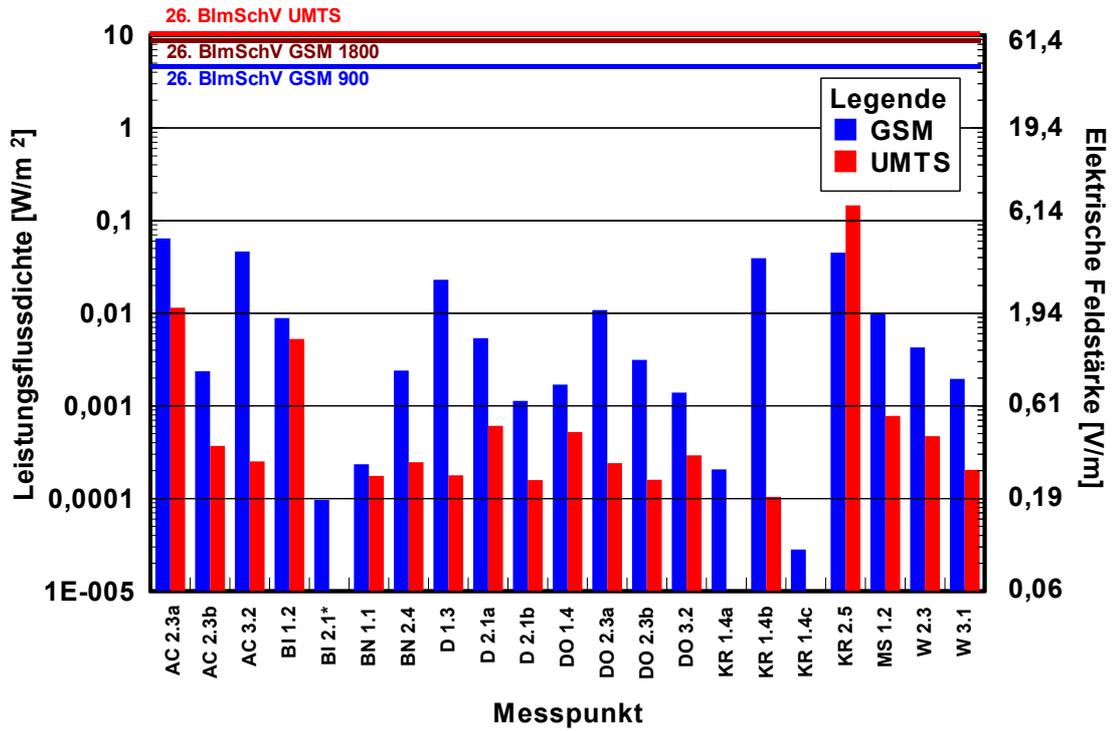


Bild 5.7 Vergleich GSM - UMTS, absolute Immission, nur Hauptsendeanlage eines Betreibers, maximaler Ausbaurzustand

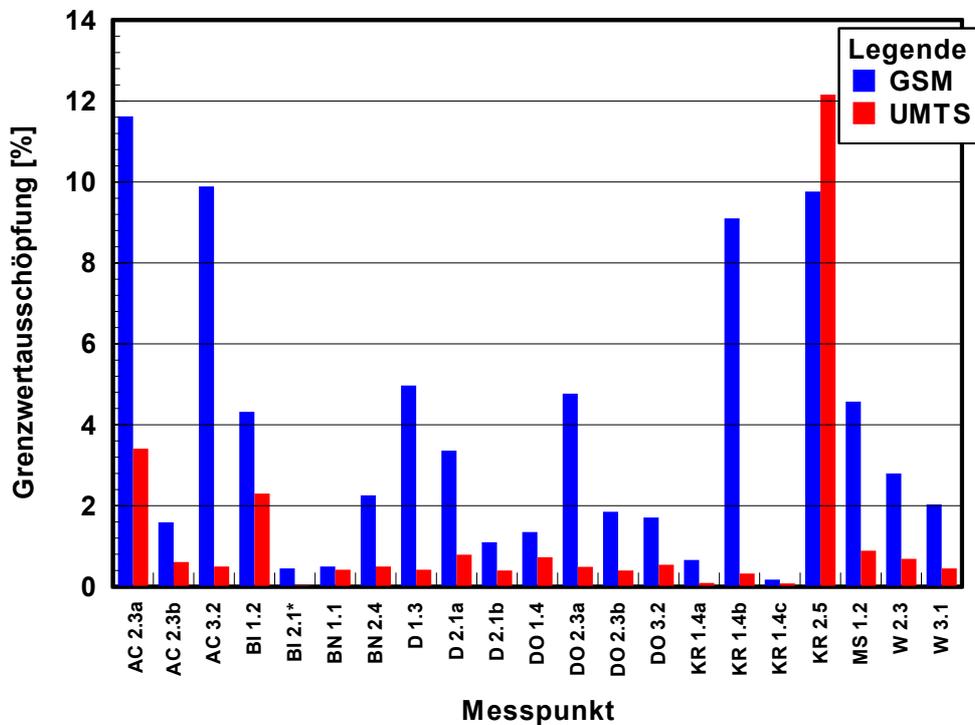


Bild 5.8 Vergleich GSM - UMTS, relative Grenzwertausschöpfung, nur Hauptsendeanlage eines Betreibers, maximaler Ausbaurzustand

Das Ergebnis ist überraschend eindeutig: Auch für Standorte, die bereits jetzt mit GSM- und UMTS-Anlagen gemeinsam genutzt werden, dominieren auch bei Installation des zweiten UMTS-Kanals an den untersuchten Messpunkten die GSM-Immissionen klar gegenüber den UMTS-Immissionen.

Über die Gründe für dieses Untersuchungsergebnis lassen sich folgende Vermutungen anstellen, die in nachfolgenden Untersuchungen verifiziert werden sollten:

- Da die Sendeleistungen von UMTS-Anlagen sich nicht wesentlich von denen der GSM-Anlagen unterscheiden, müssen auch die Gesamtimmissionen vergleichbar sein.
- Trotzdem kommt es, wie obige Untersuchungen zeigen, offensichtlich zu großen Unterschieden in der ortsbezogenen Immission, was darauf hindeutet, dass die Sendeleistung der beiden Anlagentypen *unterschiedlich verteilt* wird.
- Eine unterschiedliche Verteilung kann nur durch Unterschiede in den anlagenseitigen Parametern, wie z.B. Antennenausrichtung (horizontal), Downtilt, Antennentyp, Montagehöhe usw. begründet werden.
- Bisherige Beobachtungen zeigen, dass UMTS-Antennen oftmals mit einem stärkeren Downtilt betrieben werden als GSM-Antennen. Nach den Betrachtungen von [BOR 02-3] heißt das, dass bei UMTS die Sendeleistung in einen schmaleren Bereich um die Antenne herum auf den Boden verteilt würde.
- UMTS-Antennen weisen, verglichen mit GSM 900-Antennen, auf Grund der höheren Betriebsfrequenz eine stärkere Bündelung auf. Zusammen mit den Aussagen des vorigen Punktes könnte hieraus schlussgefolgert werden, dass die Wahrscheinlichkeit, in direkter Nähe einer Basisstation in Hauptstrahlrichtung zu sein, bei einer GSM 900-Anlage höher ist als bei einer UMTS-Anlage. Neuere Untersuchungen [WUS 04] haben gezeigt, dass vor allem die Orientierung eines Messpunktes zur Hauptstrahlrichtung der Mobilfunkantenne maßgeblich seine Immission bestimmt. Hiermit wäre die zahlenmäßige Überlegenheit der Messpunkte, an denen GSM gegenüber UMTS dominiert, zu erklären.
- Liegt jedoch ein Messpunkt in Hauptstrahlrichtung der UMTS-Antenne, dann ist mit Vorgesagtem zu vermuten, dass er eine vergleichsweise zur GSM 900-Hauptstrahlrichtung höhere Immission erfährt. Dies scheint am Messpunkt KR 2.5 der Fall zu sein. Überschlägige numerische Simulationen haben gezeigt, dass dieser Messpunkt aufgrund der unterschiedlichen Höhen und Downtilts der UMTS- und GSM-Antennen in Hauptstrahlrichtung der UMTS-Antenne, aber nur am Rande des Hauptstrahls der GSM-Antenne liegt. Wie z.B. Bild 5.5 zeigt, gehört MP KR 2.5 zu den am höchsten exponiertesten Messpunkten der gesamten Messreihe, was vorgenannte Überlegung bestätigt.

Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass es sich bei dieser Untersuchung um eine zahlenmäßig sehr begrenzte Anzahl von Messpunkten handelt, so dass statistisch belastbare Aussagen streng genommen nicht möglich sind. Jedoch scheint hier ein interessanter Trend aufgezeigt worden zu sein, der in nachfolgenden Messreihen noch weiter untersucht werden sollte. Bei solchen Nachfolgeuntersuchungen sollte eine möglichst breite Vielfalt an Anlagen und vor allem Orientierungen der Messpunkte zur Anlage realisiert werden, was hier auf Grund der vorgegebenen Messpunkte nicht möglich war.

5.2 Sonstige hochfrequente Funkanlagen

Außer Mobilfunk-Immissionen wurde an allen Messpunkten auch die Immissionen durch sonstige hochfrequente Sendeanlagen gemessen. Insbesondere wurden getrennt erfasst:

- analoge Rundfunksender,
- digitale Rundfunksender (DAB),
- analoge Fernsehsender,
- digitale Fernsehsender DVB-T (die Region Düsseldorf/Ruhrgebiet befindet sich seit November 2004 im Simulcast-Betrieb, wohingegen die Region Köln/Bonn den analogen terrestrischen Fernsehbetrieb bereits eingestellt hat), und
- DECT.

Tabelle 5.4 fasst die Ergebnisse der Messungen an allen Messpunkten zusammen.

MP	Immission	Radio		Fernsehen		Rufu	DECT	Sonstiges	Summe
		analog	digital	analog	digital	gesamt			
AC 1.1	S [W/m ²]	6,6·10 ⁻⁷	0	1,6·10 ⁻⁷	1,9·10 ⁻⁶	2,8·10 ⁻⁶	0	0	2,8·10 ⁻⁶
	E [V/m]	0,02	0	0,01	0,03	0,03	0	0	0,03
	% GW	0,06	0	0,03	0,08	0,10	0	0	0,10
AC 2.3	S [W/m ²]	4,1·10 ⁻⁵	3,1·10 ⁻⁷	2,2·10 ⁻³	0	2,2·10 ⁻³	0	0	2,2·10 ⁻³
	E [V/m]	0,12	0,01	0,91	0	0,91	0	0	0,91
	% GW	0,45	0,04	2,59	0	2,63	0	0	2,63
AC 3.2	S [W/m ²]	5,6·10 ⁻⁷	3,1·10 ⁻⁷	7,6·10 ⁻⁷	0	1,6·10 ⁻⁶	6,7·10 ⁻⁵	0	6,8·10 ⁻⁵
	E [V/m]	0,01	0,01	0,02	0	0,02	0,16	0	0,16
	% GW	0,05	0,04	0,05	0	0,08	0,27	0	0,28
BI 1.2	S [W/m ²]	5,7·10 ⁻⁴	2,0·10 ⁻⁵	1,1·10 ⁻³	0	1,6·10 ⁻³	3,1·10 ⁻⁴	0	2,0·10 ⁻³
	E [V/m]	0,46	0,09	0,63	0	0,79	0,34	0	0,86
	% GW	1,68	0,32	1,89	0	2,55	0,57	0	2,61
BI 2.1*	S [W/m ²]	3,2·10 ⁻⁴	1,4·10 ⁻⁶	8,7·10 ⁻⁵	0	4,1·10 ⁻⁴	4,7·10 ⁻⁶	0	4,1·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,35	0,02	0,18	0	0,39	0,04	0	0,40
	% GW	1,26	0,08	0,55	0	1,38	0,07	0	1,38
BI 3.3	S [W/m ²]	1,1·10 ⁻⁶	3,0·10 ⁻⁷	1,9·10 ⁻⁵	0	2,0·10 ⁻⁵	4,7·10 ⁻⁶	0	2,5·10 ⁻⁵
	E [V/m]	0,02	0,01	0,08	0	0,09	0,04	0	0,1
	% GW	0,08	0,04	0,30	0	0,31	0,07	0	0,32
BN 1.1	S [W/m ²]	4,8·10 ⁻⁵	2,6·10 ⁻⁷	3,3·10 ⁻⁸	1,8·10 ⁻⁶	5,1·10 ⁻⁵	7,6·10 ⁻⁶	0	5,8·10 ⁻⁵
	E [V/m]	0,14	0,01	0,00	0,03	0,14	0,05	0	0,15
	% GW	0,49	0,04	0,01	0,08	0,50	0,09	0	0,51

MP	Immission	Radio		Fernsehen		Rufu	DECT	Sonstiges	Summe
		analog	digital	analog	digital	gesamt			
BN 2.4	S [W/m ²]	2,5·10 ⁻⁴	4,8·10 ⁻⁷	0	1,4·10 ⁻⁵	2,6·10 ⁻⁴	0	0	2,6·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,30	0,01	0	0,07	0,31	0	0	0,31
	% GW	1,11	0,05	0	0,20	1,13	0	0	1,13
BN 3.3	S [W/m ²]	1,3·10 ⁻³	2,8·10 ⁻⁶	0	9,5·10 ⁻⁵	1,4·10 ⁻³	0	0	1,4·10 ⁻³
	E [V/m]	0,71	0,03	0	0,19	0,74	0	0	0,74
	% GW	2,59	0,12	0	0,55	2,65	0	0	2,65
D 1.3	S [W/m ²]	2,6·10 ⁻⁶	4,3·10 ⁻⁷	6,8·10 ⁻⁵	6,0·10 ⁻⁵	1,3·10 ⁻⁴	3,3·10 ⁻⁴	0	4,6·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,03	0,01	0,16	0,15	0,22	0,35	0	0,42
	% GW	0,11	0,05	0,47	0,44	0,65	0,59	0	0,88
D 2.1	S [W/m ²]	7,6·10 ⁻⁷	5,3·10 ⁻⁶	3,1·10 ⁻⁸	3,3·10 ⁻⁴	3,3·10 ⁻⁴	2,0·10 ⁻⁶	0	3,4·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,02	0,04	0,00	0,35	0,35	0,03	0	0,36
	% GW	0,06	0,16	0,01	1,03	1,04	0,05	0	1,04
DO 1.4	S [W/m ²]	1,2·10 ⁻⁷	4,8·10 ⁻⁹	1,4·10 ⁻⁵	8,4·10 ⁻⁶	2,3·10 ⁻⁵	3,0·10 ⁻⁶	0	2,6·10 ⁻⁵
	E [V/m]	0,01	0,00	0,07	0,06	0,09	0,03	0	0,10
	% GW	0,02	0,01	0,23	0,17	0,28	0,06	0	0,29
DO 2.3	S [W/m ²]	6,6·10 ⁻⁷	1,1·10 ⁻⁶	1,1·10 ⁻³	1,0·10 ⁻³	2,1·10 ⁻³	5,7·10 ⁻³	0	7,8·10 ⁻³
	E [V/m]	0,02	0,02	0,65	0,62	0,90	1,46	0	1,72
	% GW	0,06	0,07	1,97	1,68	2,59	2,44	0	3,56
DO 3.2	S [W/m ²]	1,7·10 ⁻⁶	8,0·10 ⁻⁸	2,9·10 ⁻⁵	4,3·10 ⁻⁵	7,5·10 ⁻⁵	0	0	7,5·10 ⁻⁵
	E [V/m]	0,03	0,01	0,11	0,13	0,17	0	0	0,17
	% GW	0,09	0,02	0,33	0,37	0,51	0	0	0,51
KR 1.4	S [W/m ²]	9,4·10 ⁻⁸	0	0	1,8·10 ⁻⁷	2,7·10 ⁻⁷	0	0	2,7·10 ⁻⁷
	E [V/m]	0,01	0	0	0,01	0,01	0	0	0,01
	% GW	0,02	0	0	0,02	0,03	0	0	0,03
KR 2.5	S [W/m ²]	2,2·10 ⁻⁶	0	1,5·10 ⁻⁷	2,4·10 ⁻⁷	2,5·10 ⁻⁶	1,2·10 ⁻⁵	5,2·10 ⁻⁶	1,9·10 ⁻⁵
	E [V/m]	0,03	0	0,01	0,01	0,03	0,07	0,04	0,09
	% GW	0,10	0	0,03	0,03	0,11	0,11	0,07	0,17
MS 1.2	S [W/m ²]	4,8·10 ⁻⁶	3,3·10 ⁻⁷	7,4·10 ⁻⁵	0	7,9·10 ⁻⁵	3,1·10 ⁻⁴	0	3,9·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,04	0,01	0,17	0	0,17	0,34	0	0,38
	% GW	0,16	0,04	0,50	0	0,52	0,57	0	0,78
MS 2.1	S [W/m ²]	1,0·10 ⁻⁶	1,9·10 ⁻⁶	1,1·10 ⁻⁵	0	1,4·10 ⁻⁵	0	0	1,4·10 ⁻⁵
	E [V/m]	0,02	0,03	0,06	0	0,07	0	0	0,07
	% GW	0,07	0,10	0,19	0	0,23	0	0	0,23

MP	Immission	Radio		Fernsehen		Rufu	DECT	Sonstiges	Summe
		analog	digital	analog	digital	gesamt			
OB 1.1	S [W/m ²]	1,1·10 ⁻⁶	0	9,0·10 ⁻⁸	1,6·10 ⁻⁶	2,8·10 ⁻⁶	0	0	2,8·10 ⁻⁶
	E [V/m]	0,02	0	0,01	0,02	0,03	0	0	0,03
	% GW	0,07	0	0,02	0,07	0,10	0	0	0,10
OB 2.1	S [W/m ²]	6,6·10 ⁻⁷	0	1,6·10 ⁻⁷	1,9·10 ⁻⁶	2,8·10 ⁻⁶	0	0	2,8·10 ⁻⁶
	E [V/m]	0,02	0	0,01	0,03	0,03	0	0	0,03
	% GW	0,06	0	0,03	0,08	0,10	0	0	0,10
SI 1.1	S [W/m ²]	3,5·10 ⁻³	8,0·10 ⁻⁷	2,5·10 ⁻⁵	0	3,5·10 ⁻³	4,2·10 ⁻⁵	0	3,6·10 ⁻³
	E [V/m]	1,15	0,02	0,10	0	1,15	0,13	0	1,16
	% GW	4,17	0,06	0,29	0	4,18	0,21	0	4,18
W 1.3	S [W/m ²]	2,8·10 ⁻⁵	9,0·10 ⁻⁸	1,8·10 ⁻⁵	6,4·10 ⁻⁸	4,6·10 ⁻⁵	2,5·10 ⁻⁶	0	4,9·10 ⁻⁵
	E [V/m]	0,10	0,01	0,08	0,00	0,13	0,03	0	0,14
	% GW	0,37	0,02	0,25	0,02	0,45	0,05	0	0,45
W 2.3	S [W/m ²]	6,7·10 ⁻⁷	1,8·10 ⁻⁷	2,4·10 ⁻⁴	0	2,4·10 ⁻⁴	0	0	2,4·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,02	0,01	0,30	0	0,30	0	0	0,30
	% GW	0,06	0,03	0,99	0	0,99	0	0	0,99
W 3.1	S [W/m ²]	6,4·10 ⁻⁶	6,4·10 ⁻⁷	3,9·10 ⁻⁵	5,3·10 ⁻⁷	4,7·10 ⁻⁵	0	0	4,7·10 ⁻⁵
	E [V/m]	0,05	0,02	0,12	0,01	0,13	0	0	0,13
	% GW	0,18	0,06	0,37	0,04	0,42	0	0	0,42

Tab. 5.4 Immission durch sonstige hochfrequente Funkanlagen

Die Vergleich der Immissionen durch sonstige hochfrequente Funkanlagen an den einzelnen Messpunkten untereinander und zur Immission durch Mobilfunk sowie die Summation der einzelnen Immissionsanteile zu einer Gesamtimmission erfolgt im nächsten Abschnitt.

5.3 Gesamtimmission

5.3.1 Ergebnisse der Messungen der Gesamtimmission

Die Immissionen durch Mobilfunk sowie durch sonstige hochfrequente Immissionen überlagern sich an jedem Messpunkt zu einer Gesamtimmission. Tabelle 5.5 fasst die Überlagerung an den Messpunkten zusammen. Als Immission durch Mobilfunk wurde die Gesamtimmission durch Mobilfunk (HSA+NSA) bei aktuellem Ausbaustand der Anlagen gewählt. Der Messpunkt AC 1.3 ist hier nicht aufgenommen worden, da, wie schon in Kapitel 2 erläutert, hier nur die Immission durch Mobilfunk ermittelt wurde.

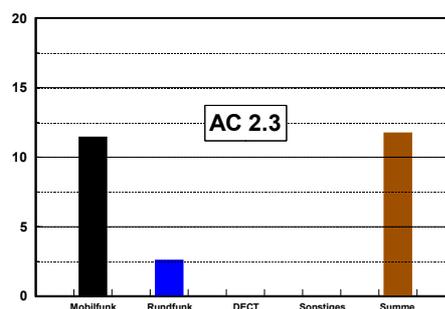
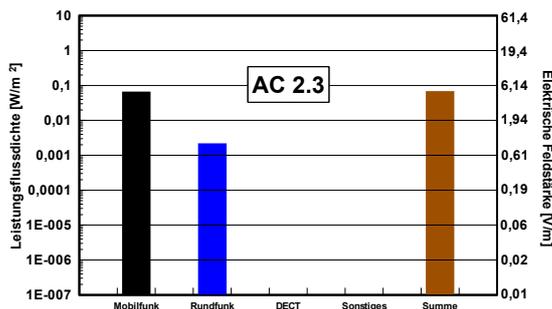
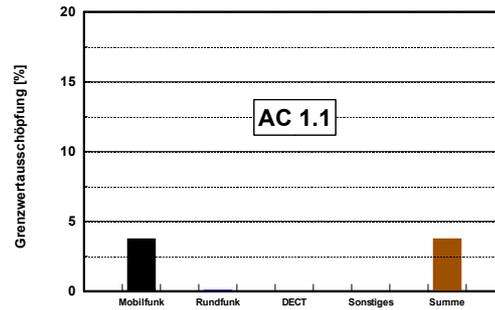
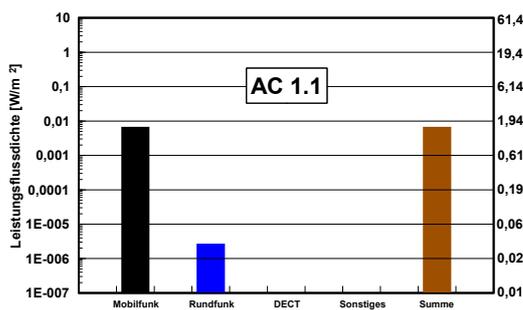
MP	Immission	Mofu gesamt (aktueller Zustand)	Rundfunk gesamt	DECT	Sonsti- ges	Summe
AC 1.1	S [W/m ²]	6,8·10 ⁻³	2,8·10 ⁻⁶	0	0	6,8·10 ⁻³
	E [V/m]	1,60	0,03	0	0	1,60
	% GW	3,78	0,10	0	0	3,78
AC 2.3	S [W/m ²]	6,7·10 ⁻²	2,2·10 ⁻³	0	0	6,9·10 ⁻²
	E [V/m]	5,03	0,91	0	0	5,11
	% GW	11,48	2,63	0	0	11,78
AC 3.2	S [W/m ²]	3,1·10 ⁻²	1,6·10 ⁻⁶	6,7·10 ⁻⁵	0	3,1·10 ⁻²
	E [V/m]	3,41	0,02	0,16	0	3,42
	% GW	8,04	0,08	0,27	0	8,05
BI 1.2	S [W/m ²]	7,2·10 ⁻³	1,6·10 ⁻³	3,1·10 ⁻⁴	0	9,2·10 ⁻³
	E [V/m]	1,65	0,79	0,34	0	1,86
	% GW	3,49	2,55	0,57	0	4,36
BI 2.1*	S [W/m ²]	6,0·10 ⁻³	4,1·10 ⁻⁴	4,7·10 ⁻⁶	0	6,4·10 ⁻³
	E [V/m]	1,51	0,39	0,04	0	1,56
	% GW	3,21	1,38	0,07	0	3,49
BI 3.3	S [W/m ²]	9,8·10 ⁻³	2,0·10 ⁻⁵	4,7·10 ⁻⁶	0	9,8·10 ⁻³
	E [V/m]	1,92	0,09	0,04	0	1,92
	% GW	3,83	0,31	0,07	0	3,84
BN 1.1	S [W/m ²]	7,3·10 ⁻⁴	5,1·10 ⁻⁵	7,6·10 ⁻⁶	0	7,9·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,53	0,14	0,05	0	0,55
	% GW	0,91	0,50	0,09	0	1,04
BN 2.4	S [W/m ²]	1,3·10 ⁻³	2,6·10 ⁻⁴	0	0	1,6·10 ⁻³
	E [V/m]	0,71	0,31	0	0	0,77
	% GW	1,64	1,13	0	0	1,99
BN 3.3	S [W/m ²]	1,4·10 ⁻³	1,4·10 ⁻³	0	0	2,9·10 ⁻³
	E [V/m]	0,74	0,74	0	0	1,04
	% GW	1,26	2,65	0	0	2,93
D 1.3	S [W/m ²]	1,2·10 ⁻²	1,3·10 ⁻⁴	3,3·10 ⁻⁴	0	1,2·10 ⁻²
	E [V/m]	2,11	0,22	0,35	0	2,15
	% GW	3,57	0,65	0,59	0	3,68
D 2.1	S [W/m ²]	3,6·10 ⁻³	3,3·10 ⁻⁴	2,0·10 ⁻⁶	0	4,0·10 ⁻³
	E [V/m]	1,17	0,35	0,03	0	1,23
	% GW	2,58	1,04	0,05	0	2,78

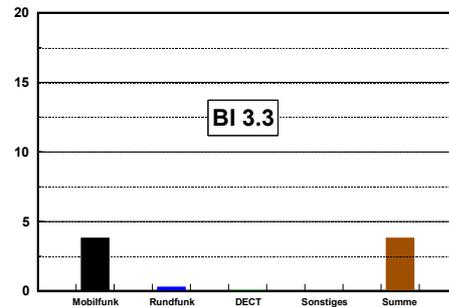
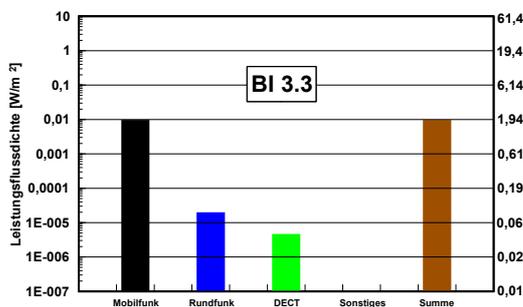
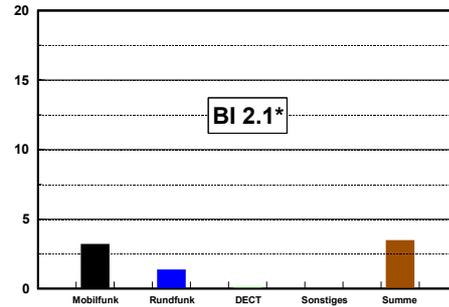
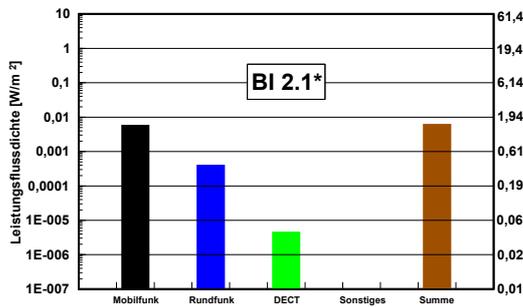
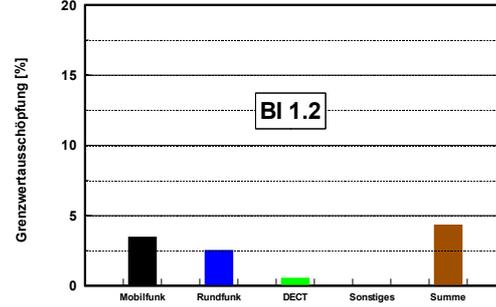
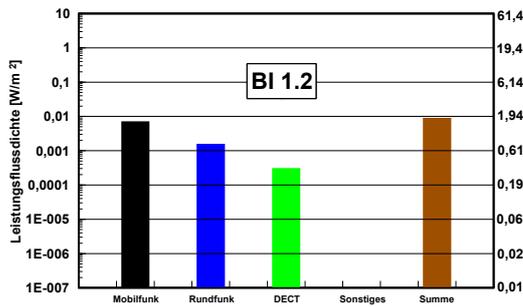
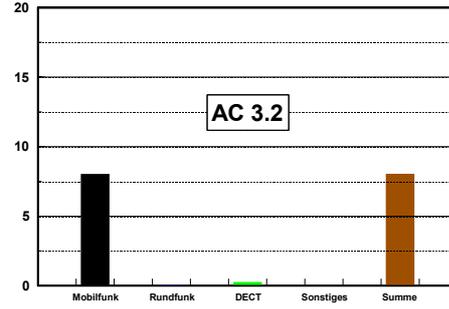
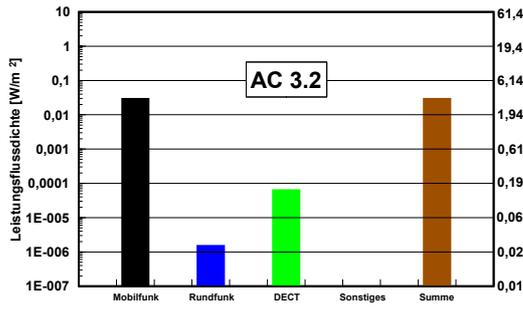
MP	Immission	Mofu gesamt (aktueller Zustand)	Rundfunk gesamt	DECT	Sonsti- ges	Summe
DO 1.4	S [W/m ²]	7,0·10 ⁻⁴	2,3·10 ⁻⁵	3,0·10 ⁻⁶	0	7,3·10 ⁻⁴
	E [V/m]	0,51	0,09	0,03	0	0,52
	% GW	0,87	0,28	0,06	0	0,91
DO 2.3	S [W/m ²]	8,0·10 ⁻³	2,1·10 ⁻³	5,7·10 ⁻³	0	1,6·10 ⁻²
	E [V/m]	1,74	0,90	1,46	0	2,44
	% GW	3,88	2,59	2,44	0	5,27
DO 3.2	S [W/m ²]	3,8·10 ⁻³	7,5·10 ⁻⁵	0	0	3,9·10 ⁻³
	E [V/m]	1,20	0,17	0	0	1,21
	% GW	2,38	0,51	0	0	2,43
KR 1.4	S [W/m ²]	4,0·10 ⁻²	2,7·10 ⁻⁷	0	0	4,0·10 ⁻²
	E [V/m]	3,87	0,01	0	0	3,87
	% GW	9,13	0,03	0	0	9,13
KR 2.5	S [W/m ²]	9,6·10 ⁻²	2,5·10 ⁻⁶	1,2·10 ⁻⁵	5,2·10 ⁻⁶	9,6·10 ⁻²
	E [V/m]	6,00	0,03	0,07	0,04	6,00
	% GW	11,03	0,11	0,11	0,07	11,03
MS 1.2	S [W/m ²]	1,2·10 ⁻²	7,9·10 ⁻⁵	3,1·10 ⁻⁴	0	1,2·10 ⁻²
	E [V/m]	2,10	0,17	0,34	0	2,14
	% GW	4,79	0,52	0,57	0	4,86
MS 2.1	S [W/m ²]	2,4·10 ⁻³	1,4·10 ⁻⁵	0	0	2,4·10 ⁻³
	E [V/m]	0,95	0,07	0	0	0,95
	% GW	2,03	0,23	0	0	2,05
OB 1.1	S [W/m ²]	4,5·10 ⁻³	2,8·10 ⁻⁶	0	0	4,5·10 ⁻³
	E [V/m]	1,30	0,03	0	0	1,30
	% GW	2,85	0,10	0	0	2,85
OB 2.1	S [W/m ²]	1,2·10 ⁻²	2,8·10 ⁻⁶	0	0	1,2·10 ⁻²
	E [V/m]	2,13	0,03	0	0	2,13
	% GW	5,04	0,10	0	0	5,04
SI 1.1	S [W/m ²]	6,9·10 ⁻³	3,5·10 ⁻³	4,2·10 ⁻⁵	0	1,0·10 ⁻²
	E [V/m]	1,62	1,15	0,13	0	1,99
	% GW	3,39	4,18	0,21	0	5,39
W 1.3	S [W/m ²]	9,5·10 ⁻⁴	4,6·10 ⁻⁵	2,5·10 ⁻⁶	0	1,0·10 ⁻³
	E [V/m]	0,60	0,13	0,03	0	0,61
	% GW	1,11	0,45	0,05	0	1,20

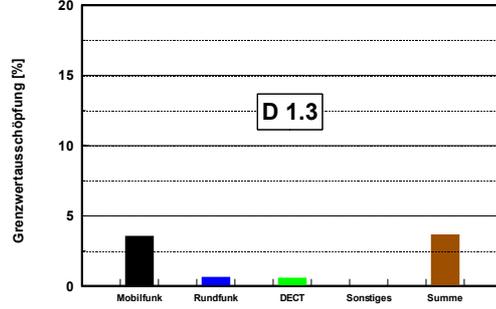
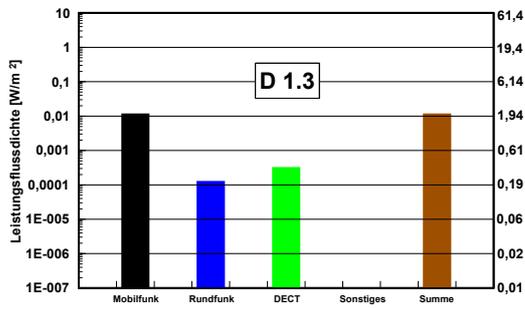
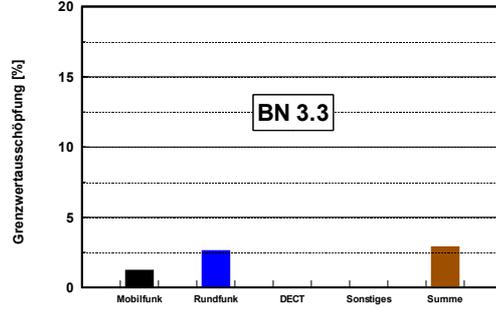
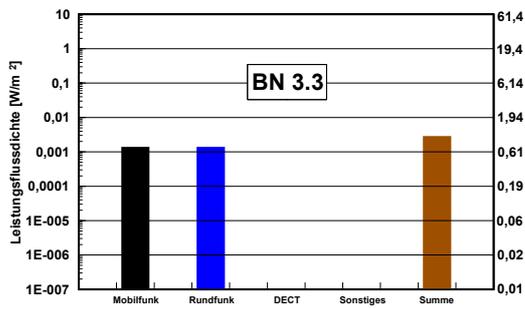
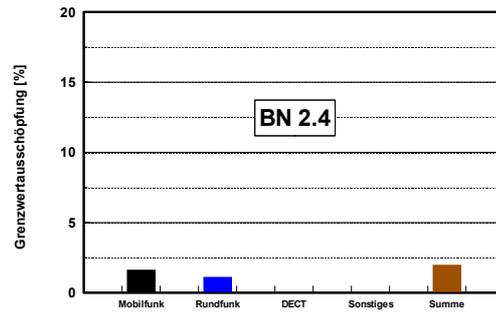
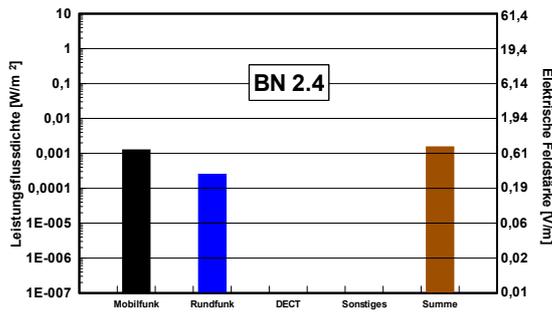
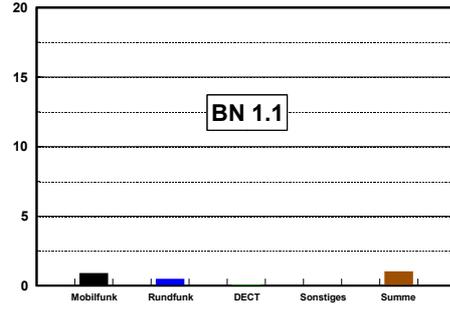
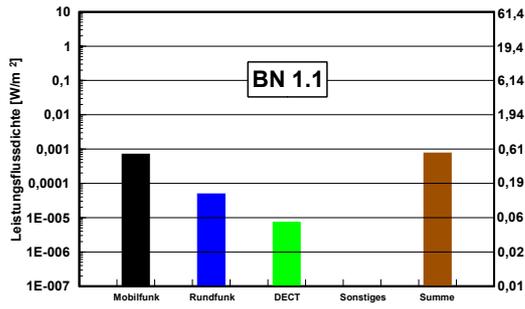
MP	Immission	Mofu gesamt (aktueller Zustand)	Rundfunk gesamt	DECT	Sonstiges	Summe
W 2.3	S [W/m ²]	2,4·10 ⁻³	2,4·10 ⁻⁴	0	0	2,6·10 ⁻³
	E [V/m]	0,95	0,30	0	0	0,99
	% GW	2,04	0,99	0	0	2,27
W 3.1	S [W/m ²]	2,1·10 ⁻³	4,7·10 ⁻⁵	0	0	2,1·10 ⁻³
	E [V/m]	0,88	0,13	0	0	0,89
	% GW	2,07	0,42	0	0	2,11

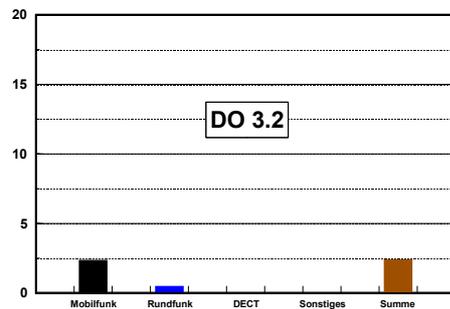
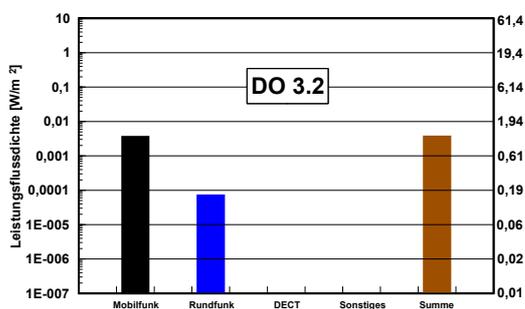
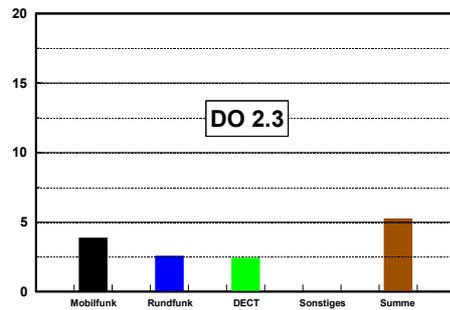
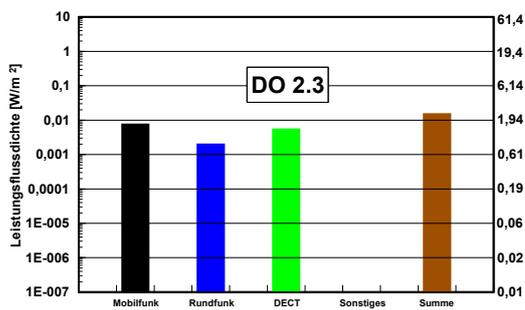
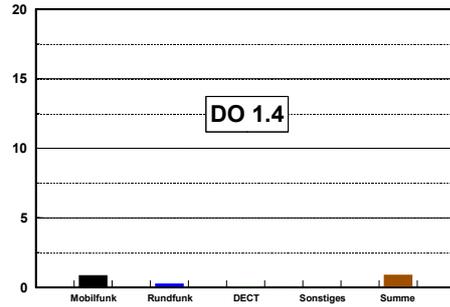
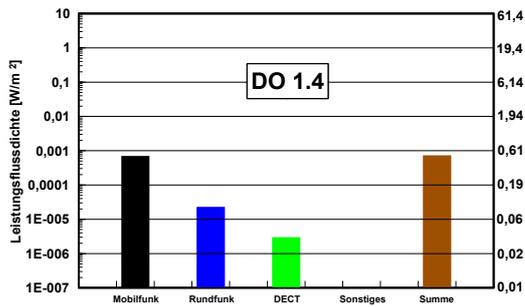
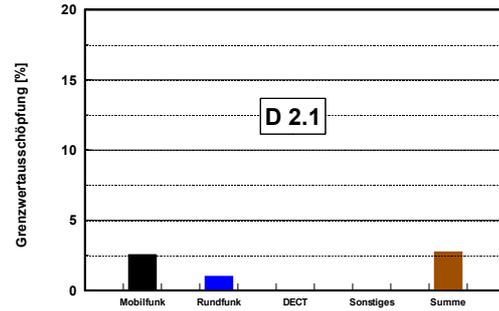
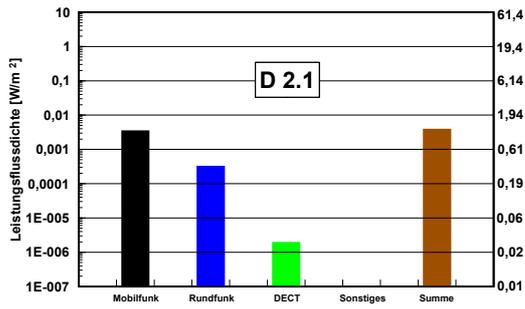
Tab. 5.5 Überlagerung der Einzelimmissionen zur Gesamtimmission; Immission durch Mobilfunk bei aktuellem Ausbauzustand

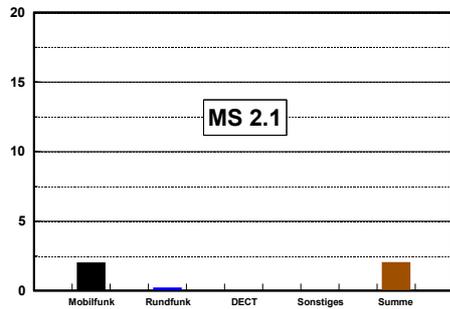
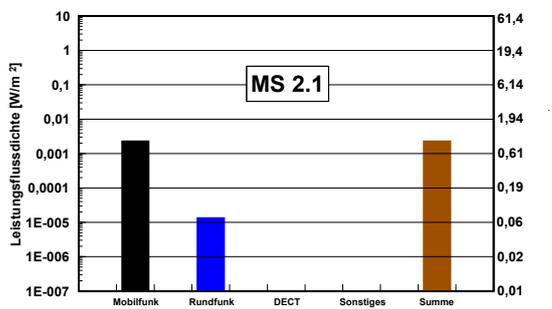
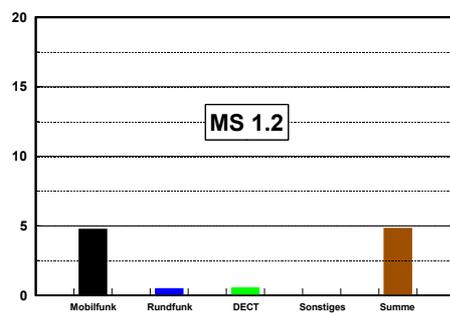
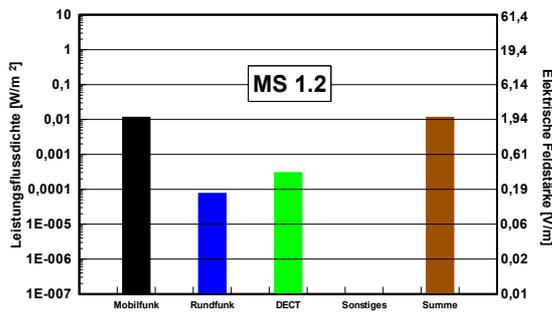
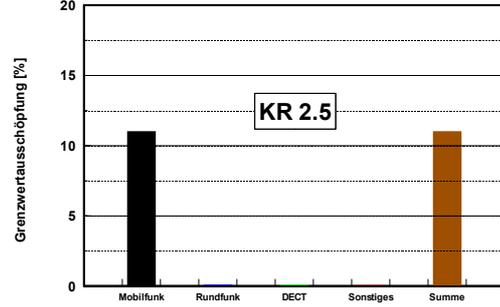
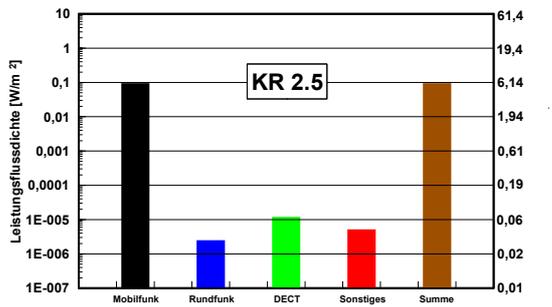
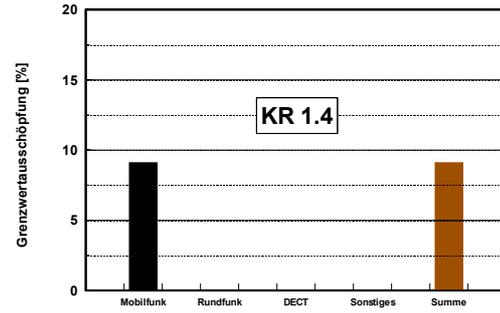
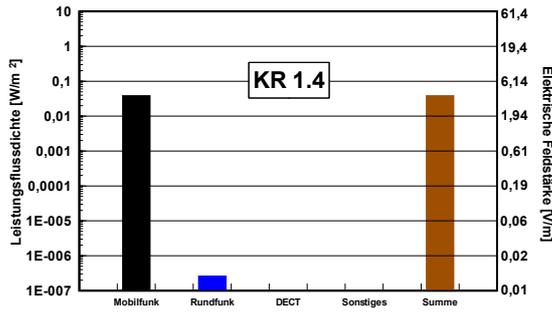
In Bild 5.9 ist für jeden einzelnen Messpunkt die Addition der Einzelimmissionen zur Gesamtimmission absolut (Immissionswert) sowie als relative Grenzwertausschöpfung bezüglich der elektrischen Feldstärke für den Fall des aktuellen Ausbauzustandes bei Mobilfunk dargestellt.

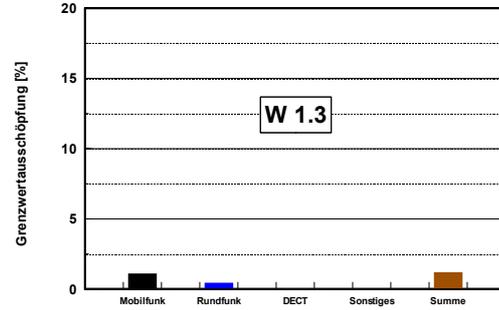
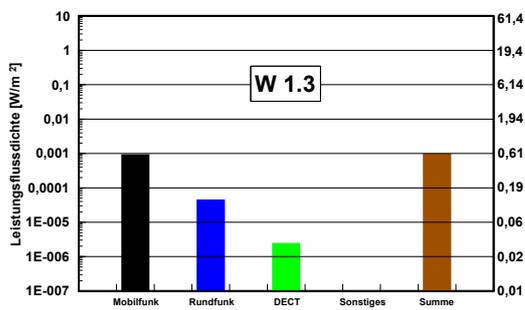
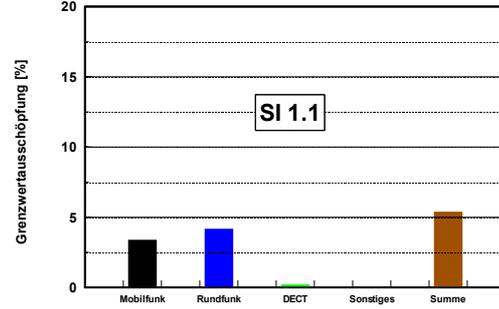
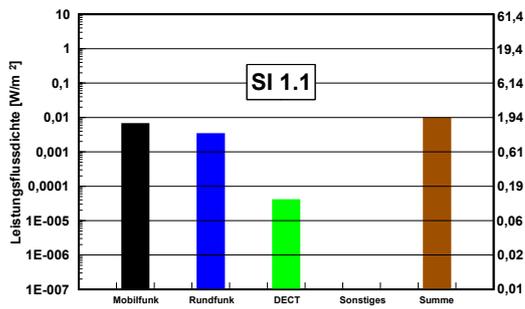
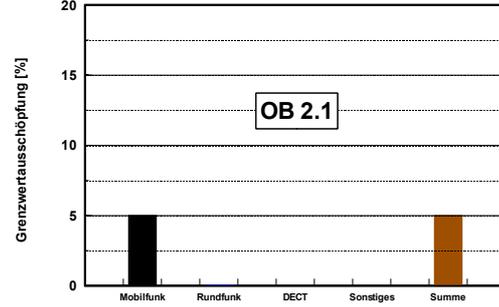
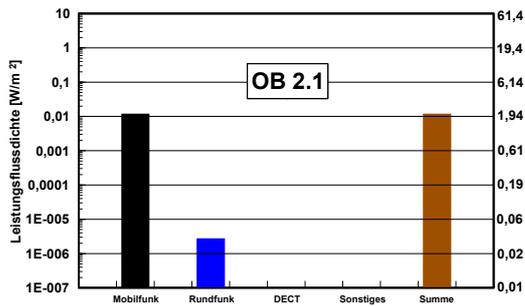
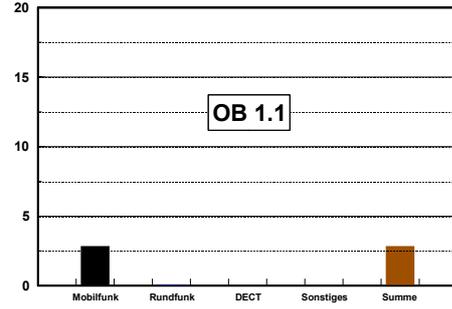
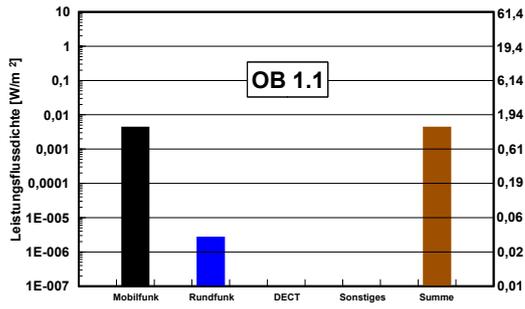












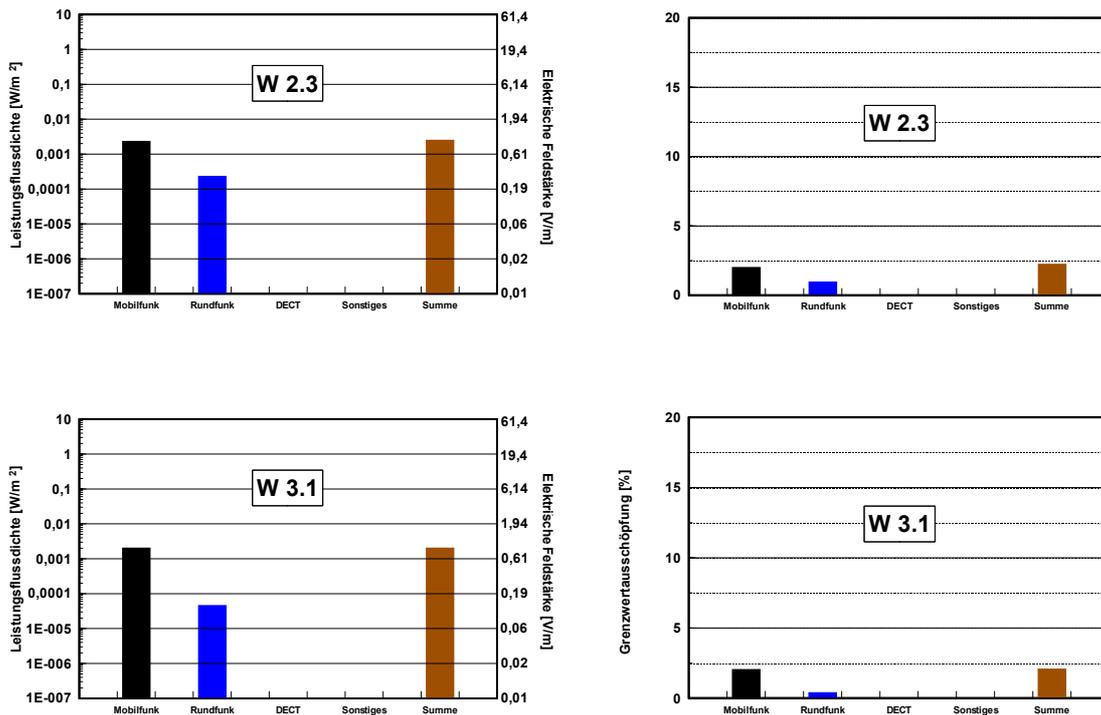


Bild 5.9 Addition der Einzelimmissionen zur Gesamtimmission; Mobilfunkanteil für aktuellen Anlagenzustand. Links: Absolutwerte der Immission; Rechts: relative Grenzwertausschöpfung.

In den Bildern 5.10 und 5.11 ist in Übereinstimmung mit den Darstellungen aus 2002 [BOR 02-3] eine Gesamtübersicht des Vergleichs zwischen Mobilfunk gesamt (aktueller Ausbauzustand), Rundfunk (Radio und Fernsehen) und DECT sowohl als absoluter Immissionswert, als auch als relative Grenzwertausschöpfung dargestellt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass an den Messpunkten fast immer Mobilfunk die Gesamtimmission dominiert. Lediglich an den MP BN 3.3 und SI 1.1 trugen die Immissionen durch Rundfunk und Fernsehsender bezüglich der Grenzwertausschöpfung mehr zur Gesamtimmission bei als der Mobilfunk. Diese Aussage darf allerdings nicht verallgemeinert werden, da die Messpunkte bei dieser Messreihe speziell bezüglich ihrer unmittelbaren Nähe zu Mobilfunkanlagen, nicht aber bezüglich der Nähe zu Rundfunk- und Fernsehsendern ausgewählt wurden.

An allen Messpunkten werden bezüglich der hochfrequenten Gesamtimmission die Grenzwerte der 26. BImSchV eingehalten. Aufgrund der Dominanz der Mobilfunk-Immissionen an den Messpunkten ändern sich die in Abschnitt 5.1.1 für Mobilfunk dokumentierten Angaben bezüglich Maximalwert, Minimalwert und durchschnittliche Immission für die Gesamtimmission nicht.

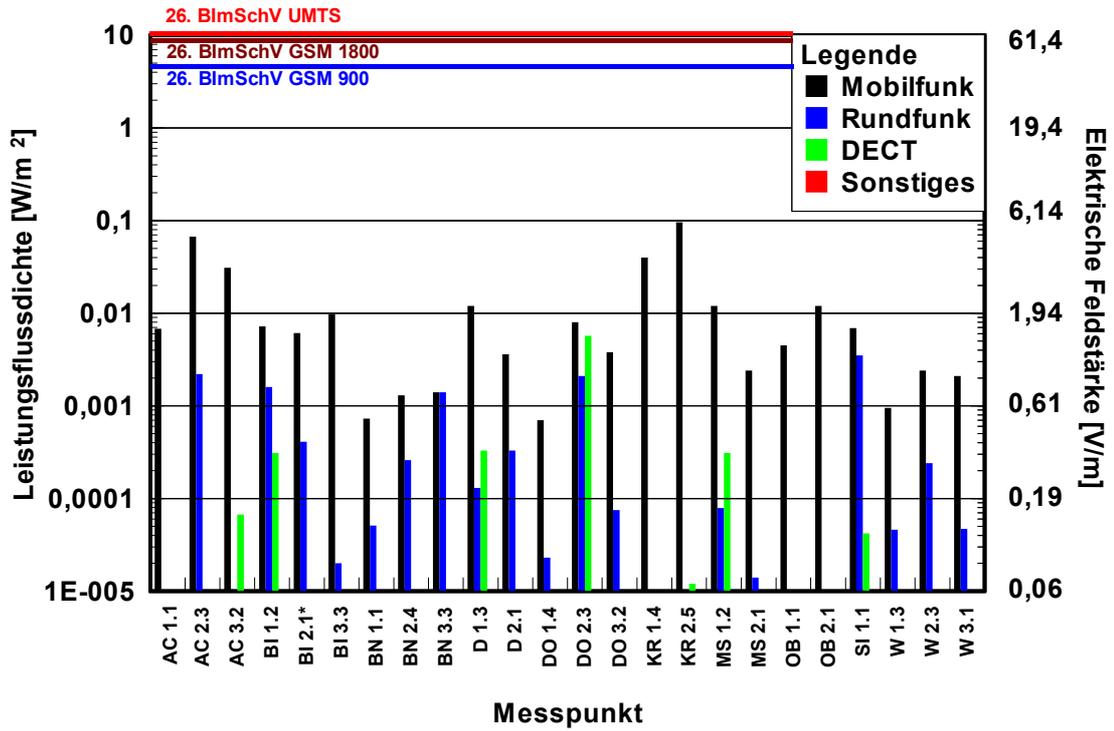


Bild 5.10 Gesamtvergleich der einzelnen Immissionsbeiträge, absolute Immission

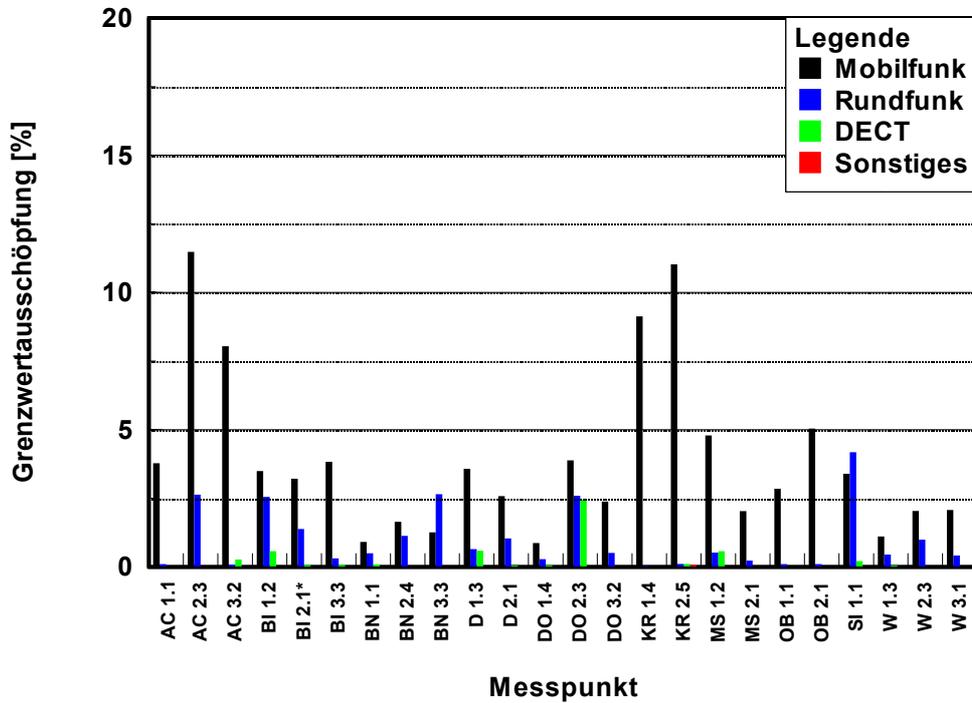


Bild 5.11 Gesamtvergleich der einzelnen Immissionsbeiträge, Grenzwertausschöpfung

5.3.2 Vergleich zu den Ergebnissen aus 2002

Bei der Messreihe in 2002 [BOR 02-3] wurden an ausgewählten Messpunkten auch Übersichtsmessungen zur Gesamtmission durchgeführt. Ähnlich zur Vorgehensweise bei der Mobilfunkmission ist ein Vergleich der Gesamtmission zwischen 2002 und 2004 von Interesse, um hieraus eventuelle Veränderungen ablesen und beurteilen zu können.

Für diesen Vergleich können nur diejenigen Messpunkte der Messreihe 2004 berücksichtigt werden, an denen auch 2002 die Ermittlung der Gesamtmission erfolgte. Dies betrifft die MP AC 1.1, BI 1.2 BI 2.1 (hier ist allerdings die örtliche Verschiebung des MP in 2004 gegenüber 2002 zu beachten!), BI 3.3, BN 1.1, BN 2.4, D 1.3, D 2.1, OB 1.1, OB 2.1, SI 1.1 und W 3.1. Bei den MP BI 2.1, BI 3.3, D 1.3, SI 1.1 und W 3.1 ist ferner zu beachten, dass in 2002 die Nicht-Mobilfunk-Immissionen nur im Frequenzbereich von 30 MHz bis 2 GHz aufgenommen wurden. Immissionen durch Sender des Lang-, Mittel- und Kurzwellenrundfunks bleiben damit unberücksichtigt. In 2004 wurde hingegen an allen Messpunkten der Frequenzbereich von 9 kHz bis 3 GHz lückenlos erfasst.

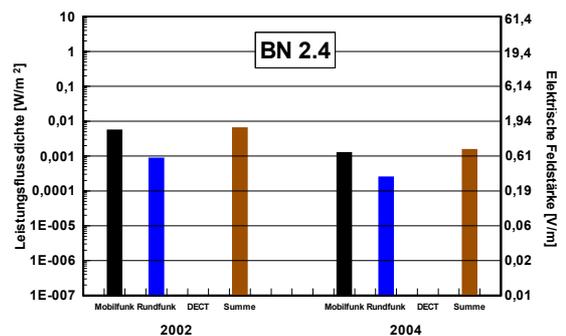
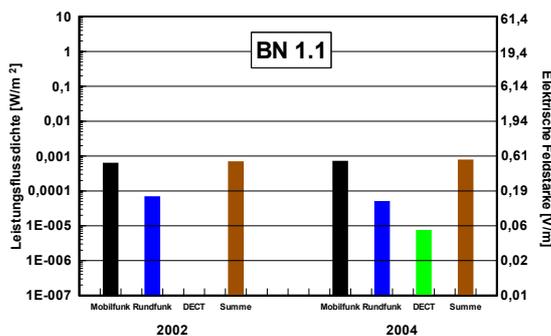
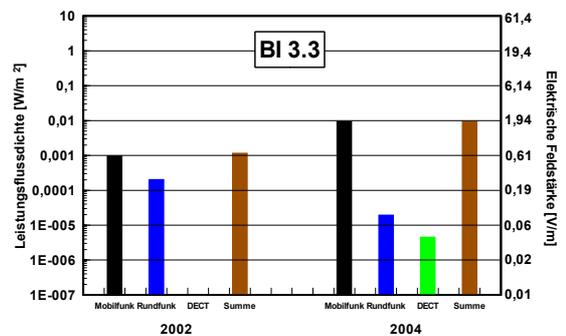
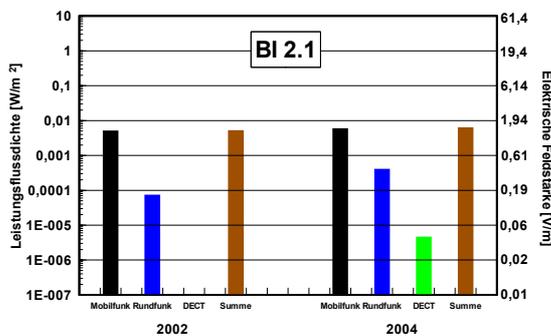
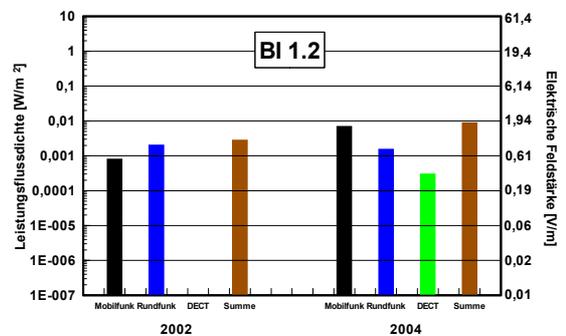
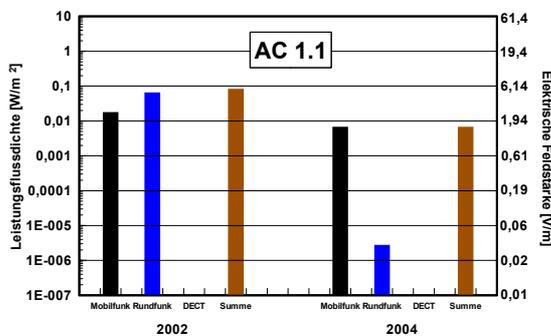
Bezüglich der Immissionen speziell durch Analog-TV an identischen Messpunkten sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

1. Bei den Messungen in 2002 [BOR 02-3] erfolgte die überblicksartige Bestimmung der „Nicht-Mobilfunk“-Immissionen im Bereich der durch Analog-TV genutzten Frequenzen in einem Grobscan 30 MHz - 2 GHz in einem Messdurchlauf. Die frequenzmäßige Auflösung dieser Messungen ist deswegen mit Einschränkungen verbunden. Bei den 2004er Messungen hingegen wurde jeder einzelne Analog-TV Kanal separat messtechnisch analysiert.
2. Da in dem durch den Grobscan abgedeckten Bereich auch die Mobilfunksender des GSM 900 und GSM 1800 Netzes enthalten waren, musste bei denjenigen Grobscans, bei denen die Mobilfunkmissionen vergleichsweise hoch waren (z.B. OB 1.1 und OB 2.1) zum Schutz des Messgerätes Dämpfungsglieder zugeschaltet werden. Waren, wie in den beiden benannten Fällen, die Immissionen durch Analog-TV gleichzeitig vergleichsweise gering, sind sie teilweise im (durch die Vordämpfung erhöhten) Grundrauschen nur schwer auszumachen.
3. Die korrekte messtechnische Erfassung von Immissionen durch Analog-TV ist derzeit noch nicht abschließend geklärt, sondern Gegenstand aktueller Forschungsvorhaben. Bei den Messungen 2002 wurde grundsätzlich mit einem Peak-Detektor am Messgerät gearbeitet. Beim Analog-TV wird damit die Immission durch den Zeilensynchronimpuls erfasst, die das Immissionsmaximum bei einem Analog-TV Signal darstellt. Bei den 2004 Untersuchungen erfolgten die Messungen mit einem RMS-Detektor. Dieser erfasst die Immissionen zeitgemittelt (Root Mean Square). Beim Analog-TV ist die abgestrahlte momentane Sendeleistung und damit auch die momentane Immission vom Bildinhalt abhängig. Ein schwarzer Bildinhalt steuert den Sender auf etwa 73 % seiner maximalen Sendeamplitude auf, während ein rein weißer Bildinhalt nur zu einer Sendeamplitude von 10 % des Maximalwertes führt. In verschiedenen Quellen wird für einem zufälligen Bildinhalt eine mittlere Sendeleistung von etwa 37 % der maximalen Sendeleistung durch den

Zeilensynchronimpuls angegeben. Um für den Vergleich beider Messreihen eine gemeinsame Basis zu schaffen, werden für einen nachfolgenden Vergleich deswegen von den gemessenen Analog-TV Immissionen der 2002er Messreihe 4,3 dB (entsprechend 37 % leistungsbezogener Auslastung) abgezogen.

Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Immissionen durch Schnurlostelefone des DECT-Standards in 2002 und 2004 nur dann aufgenommen wurden, sofern sie als relevant bezüglich der Gesamtimmission beurteilt wurden. Insofern lässt sich, wenn in den unten angegebenen Bildern kein Eintrag bei DECT vorliegt, nicht automatisch schlussfolgern, dass überhaupt keine DECT-Immissionen am Messpunkt vorliegen, sondern nur, dass diese im Vergleich zu den sonstigen Immissionsanteilen irrelevant waren.

Mit diesen Vorbetrachtungen ergibt sich folgendes Bild:



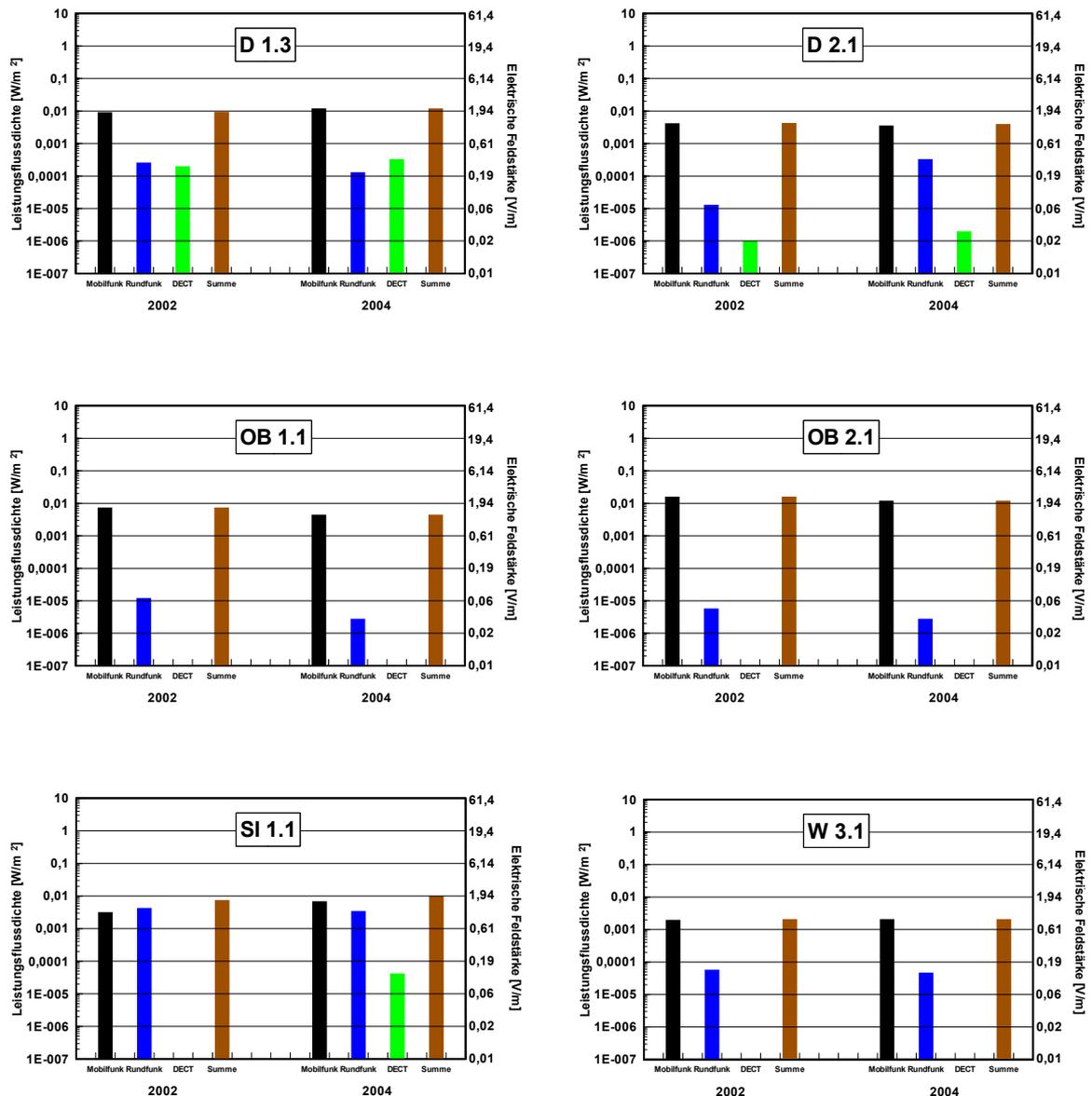


Bild 5.12 Vergleich der Gesamtmissionen an identischen Messpunkten von 2002 und 2004; Mobilfunkanteil für aktuellen Ausbauzustand

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt auswerten:

- AC 1.1: Die Gesamtmission ist etwa auf den Faktor 0,08 gesunken. Dies ist zum überwiegenden Teil auf die Nicht-Mobilfunk Immissionen zurückzuführen: Am Standort AC 1.1 war während der Messungen in 2002 eine Amateurfunkanlage in Betrieb, die die Gesamtmissionen dominiert hat. Diese konnte bei den Messungen in 2004 nicht aktiviert werden, da der Anlagenbetreiber nicht anwesend war.
- BI 1.2: Die Immission ist etwa um den Faktor 3 gestiegen. Die Erhöhung ist primär durch einen Anstieg der Mobilfunkimmissionen begründet. Dieser Umstand wurde bereits im Abschnitt 5.1.2 diskutiert.
- BI 2.1: Die Gesamtmission ist nahezu unverändert geblieben.

- BI 3.3: Die Immission ist etwa um den Faktor 8 gestiegen. Die Erhöhung ist primär durch einen Anstieg der Mobilfunkimmissionen begründet. Dieser Umstand wurde bereits im Abschnitt 5.1.2 diskutiert.
- BN 1.1: Die Gesamtimmission ist nahezu unverändert geblieben.
- BN 2.4: Die Gesamtimmission ist etwa auf den Faktor 0,2 gesunken. Dies ist sowohl durch eine Verringerung der Mobilfunkimmission (siehe Abschnitt 5.1.2), als zu einem geringeren Teil auch der durch Rundfunk begründet.
- D 1.3: Die Gesamtimmission ist nahezu unverändert geblieben.
- D 2.1: Die Gesamtimmission ist nahezu unverändert geblieben.
- OB 1.1: Die Gesamtimmission ist etwas gesunken (Faktor 0,6). Hierfür ist vor allem eine Reduzierung des Mobilfunkanteils im gleichen Umfang verantwortlich.
- OB 2.1: Die Gesamtimmission ist nahezu unverändert geblieben.
- SI 1.1: Die Gesamtimmission ist nahezu unverändert geblieben.
- W 3.1: Die Gesamtimmission ist völlig unverändert geblieben.

5.4 Langzeitmessungen

Es wurden zwei Langzeitmessungen durchgeführt, und zwar

- eine frequenzselektive 24-Stunden-Messung am Messpunkt KR 1.2 der 2002er Messreihe und
- eine breitbandige 7-Tage-Messung am Messpunkt KR 1.4.

5.4.1 Frequenzselektive 24-Stunden-Messung

Bild 5.13 zeigt das Ergebnis der 24-Stunden-Messung als Gesamtdarstellung. Die Messung wurde vom Freitag, 10.12.2004 11.00 Uhr bis zum Samstag, 11.12.2004 11.00 Uhr in der Umgebung einer mehrkanaligen Mobilfunkanlage durchgeführt. Jeder Punkt repräsentiert einen Messwert, die in Abständen von ca. 9 Minuten aufgezeichnet wurden.

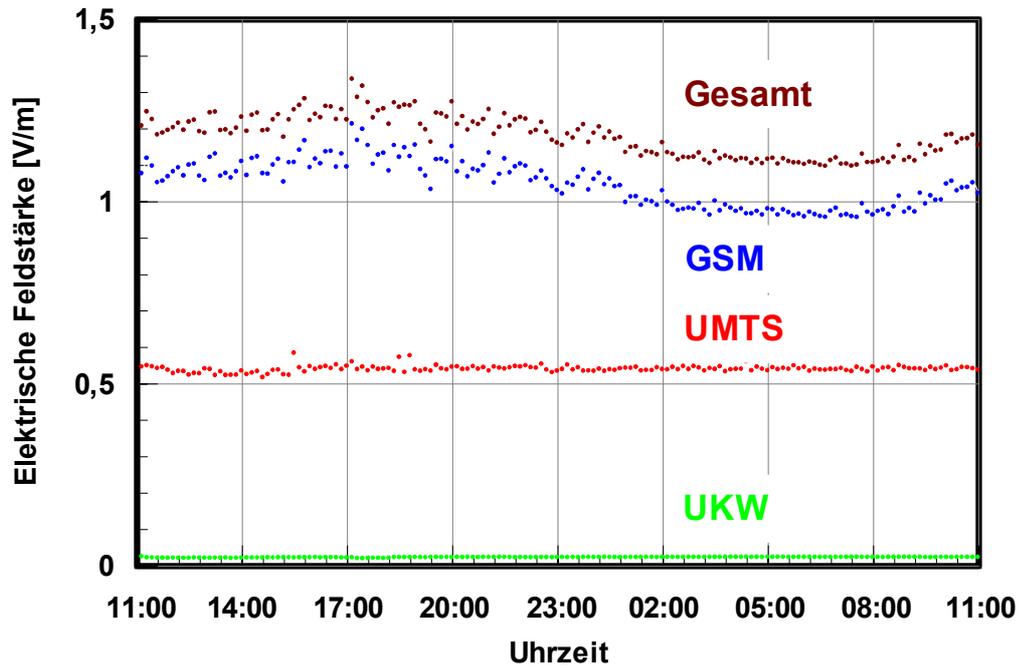


Bild 5.13 Gesamtergebnis der frequenzselektiven 24-Stunden-Messung

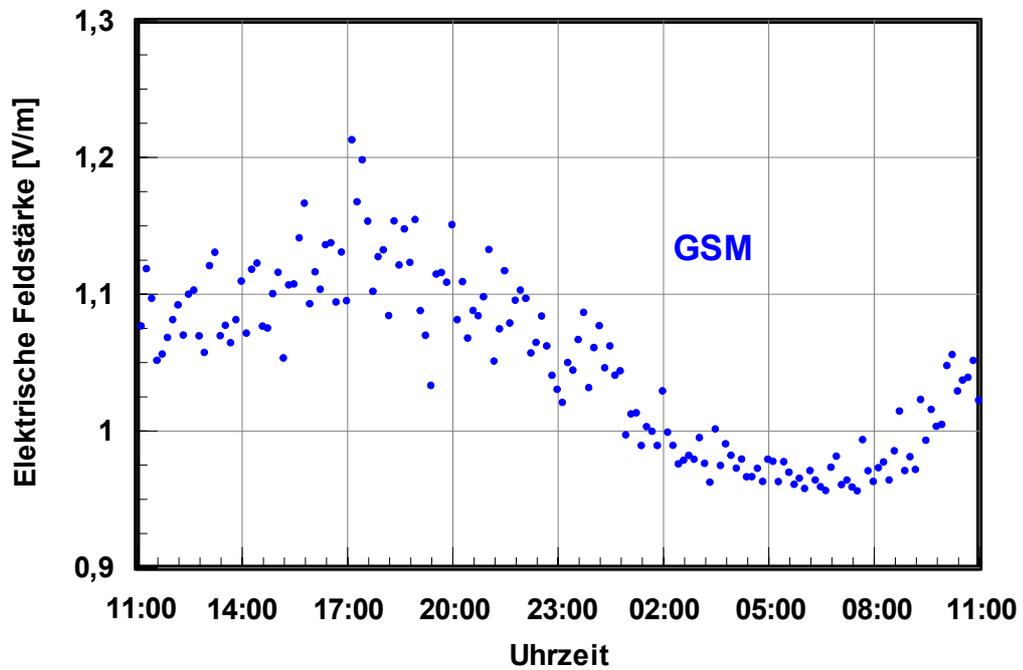


Bild 5.14 Detailergebnis der 24-Stunden-Messung für GSM am Messpunkt KR 1.2

In Bild 5.14 ist das Ergebnis für GSM allein detailliert dargestellt. Folgende Trends lassen sich ablesen:

- Es kann eine deutliche tageszeitliche Schwankung nachgewiesen werden. In der Zeit zwischen etwa 2 Uhr nachts und 8 Uhr morgens ist die Immission auf einem gleichbleibend niedrigen Pegel. Sie scheint als eine Art „Grundimmission“ nur durch die Aussendungen der BCCH Kanäle bestimmt zu sein. Starke Schwankungen gibt es in dieser „Ruhezeit“ nicht.
- Insgesamt sind die Immissionen zwischen etwa 10 Uhr vormittags und 23 Uhr abends auf einem höheren Niveau. Die höchsten Immissionen wurden in der Zeit zwischen 16 Uhr und 18 Uhr am Nachmittag gemessen. In der gesamten Zeit zwischen 10 Uhr und 23 Uhr schwankt die Immission zeitlich sehr stark, was auf eine aktive Leistungsregelung und unter Umständen auch auf Fadingeffekte hinweist. „Fast fading“ beschreibt Effekte, bei denen die Funkwellen von der Basisstation zum Empfänger aufgrund von Reflexionen über mehrere Ausbreitungspfade gelangen und die einzelnen Teilwellen dabei interferieren. Die dabei entstehenden konstruktiven oder destruktiven Überlagerungen führen zu örtlichen kleinskaligen Schwankungen. Das örtliche Schwankungsbild kann sich zeitlich verändern, wenn sich die Eigenschaften des Ausbreitungsweges zeitlich verändern, z.B. durch bewegende Personen oder vorbeifahrende Autos.

Während bei GSM eine deutliche tageszeitliche Schwankung zu erkennen ist, scheint die tageszeitliche (bzw. auslastungsabhängige) Schwankung bei UMTS derzeit gering zu sein, wie Bild 5.15 zeigt. Da prinzipiell UMTS-Basisstationen ebenfalls über eine aktive Leistungsregelung mit gegenüber GSM sogar wesentlich größeren Dynamikumfang verfügen, deutet dieses Messergebnis darauf hin, dass die UMTS-Netze im Augenblick noch nicht mit starker Verkehrslast betrieben werden.

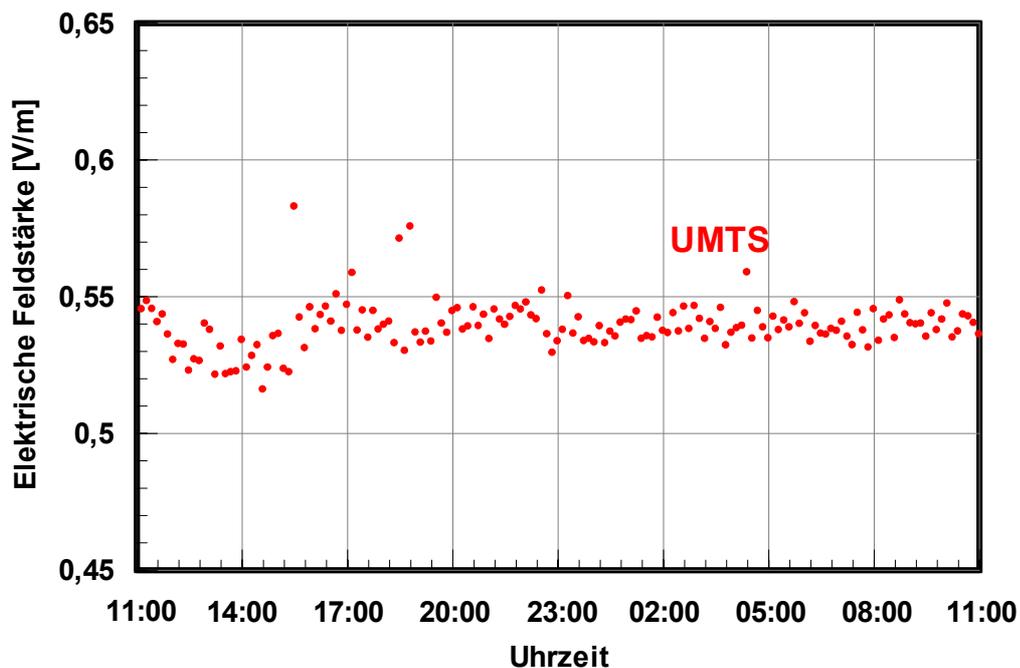


Bild 5.15

Detailergebnis der 24-Stunden-Messung für UMTS am Messpunkt KR 1.2

5.4.2 Breitbandige 7-Tage-Messung

Die 7-Tage-Messung wurde vom Mittwoch, 08.12.2004 16.00 Uhr bis Mittwoch, 15.12.2004 16.00 Uhr in der Umgebung einer mehrkanaligen Mobilfunkanlage durchgeführt. Bild 5.16 zeigt das Ergebnis. Die Messwerte wurden in Abständen von 2 Minuten aufgezeichnet.

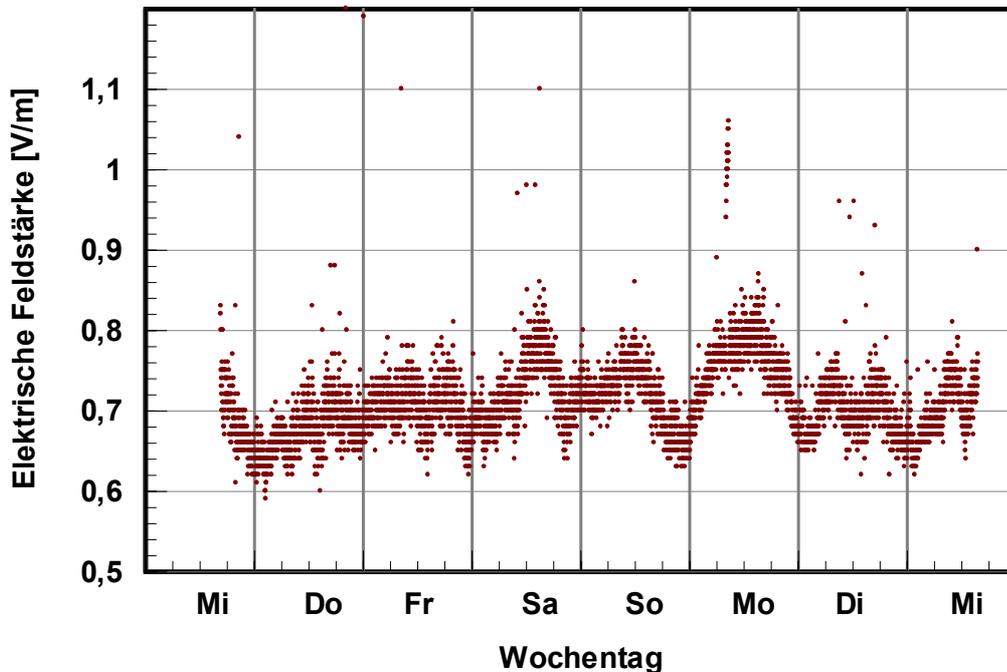


Bild 5.16 Ergebnis der breitbandigen 7-Tage-Messung am Messpunkt KR 1.4

Im Verlauf der Gesamtimmission (100 kHz – 3 GHz) sind teilweise wiederkehrende Schwankungen auszumachen, die jedoch über die Woche relativ unregelmäßig verteilt sind. Mögliche Ursachen hierfür liegen darin, dass es

- vergleichsweise schwierig ist, einen Messpunkt zu finden, der sowohl seitens der Immission (geringe Empfindlichkeit des Breitbandmessgerätes!), als auch bezüglich Zugang (Außenmesspunkte scheiden in der Regel aus) und Diebstahlschutz (nur in abschließbaren Räumen möglich) für eine Breitbandmessung geeignet ist und
- in einem solchen Raum in der Regel mit der Anwesenheit und dem Umherlaufen von Personen gerechnet werden muss, welches einen deutlichen Einfluss auf die Immission an einem festen Punkt haben kann (Verschiebung der örtlichen kleinskaligen Feldstärke-schwankungen).

Am Messpunkt, der für die breitbandige 7-Tage-Messung gewählt wurde, konnte zwar bei den Kurzzeit-Immissionsmessungen ein höherer Maximalwert ermittelt werden. Der Maximalwert wurde im Bereich des Fensters (bei geöffnetem Fenster) ermittelt. Allerdings ließ sich die Messsonde für die Langzeitmessungen nicht an diesem Punkt positionieren, da es sich bei diesem Raum um ein Büro mit ständigem Personenverkehr handelte. Den Büroarbeitern war weder ein siebentägiges Arbeiten bei durchgängig geöffnetem Fenster zuzumuten, noch war eine Positionierung des Messgerätes am Ort des Maximums bei geschlossenem

Fenster möglich, da der Messaufbau dann „im Weg gestanden“ hätte und ein auch nur geringfügiges Verrücken der Sonde aufgrund besagter Fadingeffekte die Messung stark verfälscht hätte. Da dieses Büro somit ständigen Personenverkehr sowie andere intermittierende hochfrequente Quellen (Mobiltelefone usw.) aufwies, ergibt sich zwangsläufig ein „komplexes“ Bild vom zeitlichen Verlauf der Immission.

Am Messpunkt KR 1.2 wurde vor einigen Monaten im Rahmen einer anderen Messreihe [BOR 04] ebenfalls eine breitbandige 7-Tage-Messung vorgenommen, die hier zusätzlich präsentiert wird. Im Vergleich zu Bild 5.16 unterscheidet sie sich dadurch, dass

- ein Messpunkt mit einer insgesamt höheren Immission gefunden wurde und
- der Raum, in dem gemessen wurde, während der Messung leer stand, d.h. im Raum hielten sich nicht permanent Personen auf. Insofern wird hier eine Schwankung der Immission durch auslastungsabhängige Emissionsschwankungen seitens der Basisstation nicht mit kleinräumigen örtlichen Schwankungen durch Bewegung von Personen oder durch intermittierende Quellen überlagert.

Bild 5.17 zeigt das Ergebnis der Messung. Der bereits in Bild 5.14 gezeigte tageszeitliche Verlauf wird gut abgebildet. Bemerkenswert sind folgende Punkte:

- Am Samstag und Sonntag ist die höchste Immission im Tagesverlauf kleiner als an den anderen Wochentagen. Dies ist insbesondere deswegen bemerkenswert, da eine belebte Fußgängerzone an der Nähe des Messortes vorbeiführt, wo vor allem im Verlauf des Samstags mit zahlreichen mobilen Nutzern zu rechnen wäre. Offensichtlich ist dies aber nicht entscheidend, die Basisstation wird eher wochentags durch umliegende „berufstätige“ Nutzer in den Maximalbetrieb gefahren.
- Vor allem in der Nacht vom Freitag auf Samstag sind gegenüber den anderen Nächten höhere Immissionen messbar. Das lässt auf einen vermehrten Mobiltelefongebrauch in diesem Zeitraum schließen.
- Am Montag Vormittag ist ein „Sprung“ in der Immission erkennbar. Dies kann begründet sein durch eine Anwesenheit von Personen im Raum, in dem die Messanlage installiert war (Besprechungsraum), was zu einer Veränderung der örtlich kleinskalig schwankenden Immissionsverteilung im Raum führt. Dafür spricht auch der in diesem Zeitraum auftretende besonders niedrige Wert von unter 1,2 V/m, der sogar tiefer liegt als die Grundimmission durch die BCCH. Unter Umständen könnte hier eine Person vor dem Gerät gestanden und eine Abschattung bewirkt haben. Für den „Sprung“ kommen aber auch eine leichte Positionsänderung der Messanlage oder veränderte Witterungsbedingungen in Frage.

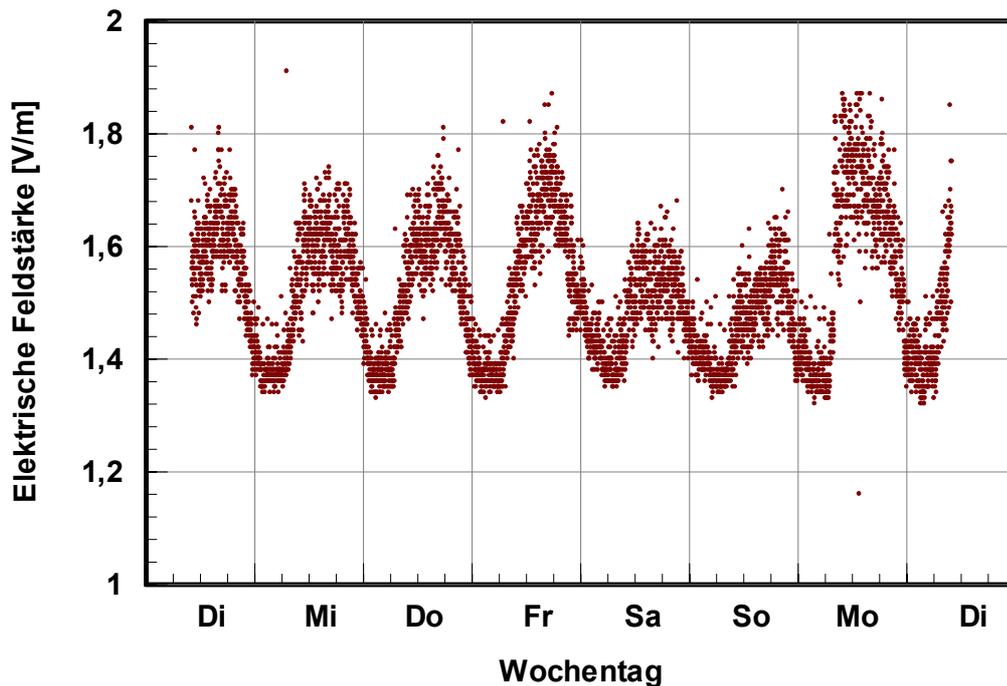


Bild 5.17 Ergebnis der breitbandigen 7-Tage-Messung aus einer früheren Messreihe [BOR 04]

5.5 Systematische Untersuchung von Einflussfaktoren

In diesem Abschnitt soll der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Größe der Immission näher untersucht werden. Bereits in [BOR 02-3] wurde herausgearbeitet, dass es folgende Einflussfaktoren gibt, die entweder nur von der Sendeanlage oder nur vom Empfangsort oder von beiden bestimmt werden:

Einflussfaktoren seitens der Mobilfunkanlage:

- insgesamte Sendeleistung der Anlage (Anzahl der Netzbetreiber, Anzahl der Kanäle, Sendeleistung pro Kanal),
- Höhe der Sendeanlage über Grund,
- verwendete Antennentypen,
- Downtilt der Antennen,
- horizontale Ausrichtung der Antennen.

Einflussfaktoren seitens des Immissionsortes:

- Abstand zur Sendeanlage,
- Höhe des Empfängerortes über Grund (bzw. Höhenunterschied zur Sendeanlage),
- horizontale Ausrichtung zur Anlage,
- Vorhandensein von dämpfenden Hindernissen (Sichtbarkeit der Anlage).

Von diesen Einflussfaktoren sollen hierbei der (radiale) Abstand von der Sendeanlage, der relative Höhenunterschied vom Messpunkt (MP) zur Sendeanlage sowie die Sichtverhältnisse (freie Sicht oder Sicht durch Hindernisse verdeckt) untersucht werden. Der relative Höhenunterschied wird hierbei durch den Vertikalwinkel charakterisiert, der mittels eines speziellen Messgerätes während der Messungen mitprotokolliert wurde. Diese Faktoren sind in Bild 5.18 veranschaulicht.

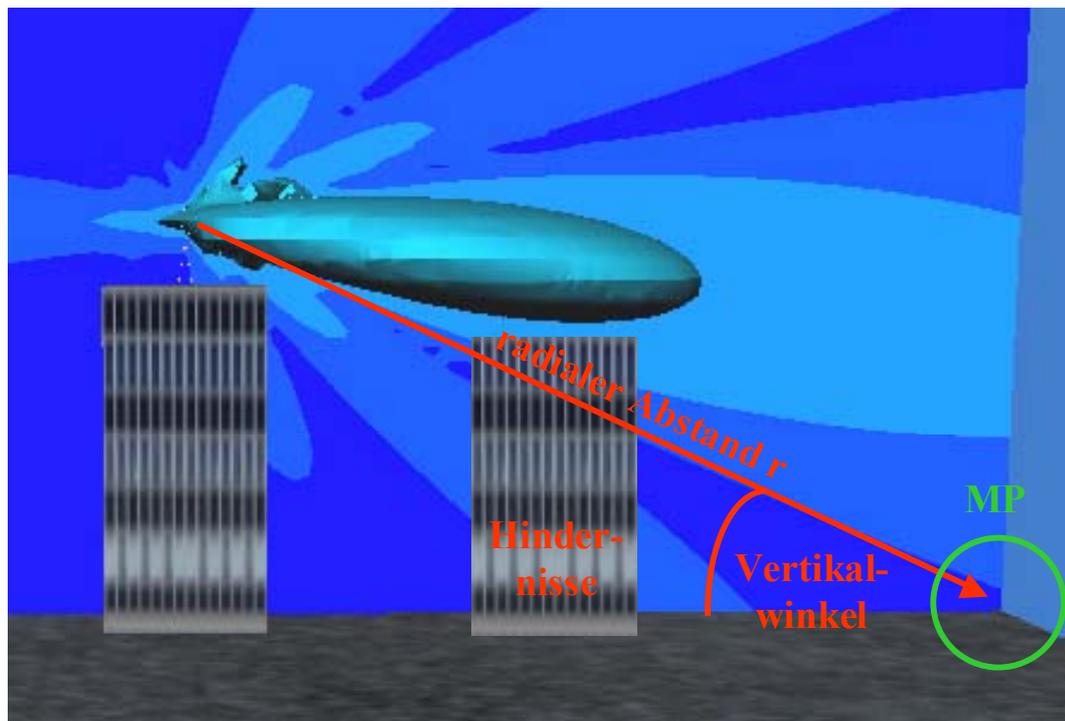


Bild 5.18 Untersuchte Einflussfaktoren

Bei den folgenden Untersuchungen ist zu berücksichtigen, dass die Stichprobenmenge mit 25 Messpunkten sehr gering ist und nur begrenzte statistische Aussagen zulässt. Trotzdem soll überprüft werden, ob sich Gesetzmäßigkeiten finden lassen.

5.5.1 Radialer Abstand des Messpunktes zur Sendeanlage

Es ist gängige Praxis, die Immission eines Messpunktes aufgrund seines Abstandes zur Sendequelle zu charakterisieren. Hier wird nach dem Prinzip verfahren, dass die Immission umso geringer sein müsste, je weiter der Messpunkt von der Quelle entfernt ist. Ob dies im unmittelbaren Umfeld einer Mobilfunkanlage zutrifft, sollen die folgenden Untersuchungen zeigen.

Dazu wurde jeder Messpunkt als Funktion seines Abstands von der die Immission am Messpunkt maßgeblich beeinflussenden Mobilfunkanlage (d.h. nicht unbedingt immer die Hauptsendeanlage) in ein Diagramm eingetragen. Das Ergebnis ist in Bild 5.19 dargestellt. Als Immission ist die Grenzwertausschöpfung bezüglich der elektrischen Feldstärke dargestellt (Mobilfunk gesamt, aktueller Ausbauzustand).

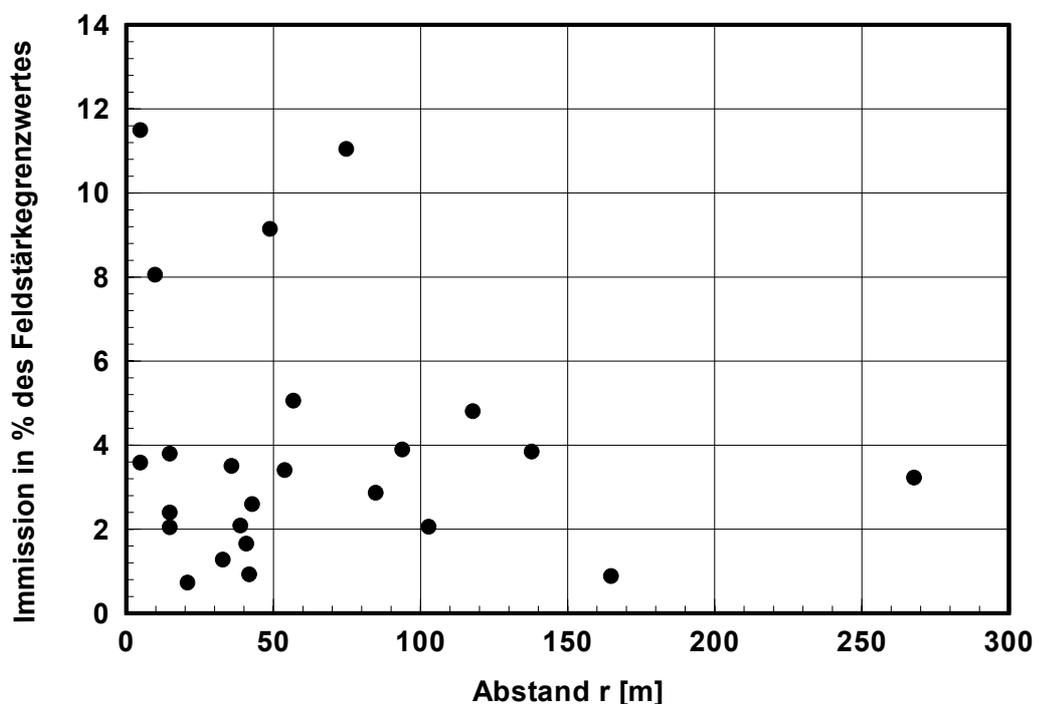


Bild 5.19 Immission als Funktion des radialen Abstands, Mobilfunk gesamt, aktueller Ausbauzustand

Als Ergebnis wird deutlich, dass es im unmittelbarem Umfeld der Basisstation (Entfernungen bis ca. 200 m) offenbar nicht gerechtfertigt ist, den Abstand als maßgebliches Kriterium für die Beurteilung der Immissionsgröße zu verwenden. Es gibt sowohl in kurzer Distanz (einige Meter) Messpunkte mit vergleichsweise hoher als auch niedriger Immission, als auch in Abständen bis einige 10 m. Eine Systematik der gleichmäßigen Abnahme der Immission mit dem Abstand ist nicht zu erkennen. Dies ist z.B. für epidemiologische Studien bedeutsam, bei denen oftmals eine Beurteilung der Immission eines Ortes primär auf Basis des Abstands zur Mobilfunkanlage erfolgt.

Die Ursache für dieses Verhalten liegt in dem Umstand begründet, dass es sich bei Mobilfunkantennen nicht um isotrope (d.h. in alle Richtungen gleichmäßig abstrahlende) Antennen handelt, sondern um Richtantennen, die ihre Energie speziell in bestimmte Raumrichtungen

verteilen. Auf diesen Umstand wurde bereits in [BOR 02-3] ausführlich eingegangen. Zur Veranschaulichung dieses Effektes sei auf Bild 5.20 verwiesen: Ein Betrachter, der sich auf dem Boden von der Antenne weg bewegt, durchläuft das so genannte Elevations-Richtdiagramm der Antenne von 180° in Richtung 90° mit all seinen Nebenzipfeln und lokalen Minima. Folglich erfährt er beim Entfernen von der Basisstation keine gleichmäßige Immissionsverringerung, sondern ein ständige Zu- und Abnahme der Immission. Dieses Auf und Ab hält so lange an, bis er schließlich in die Hauptstrahlrichtung gelangt; ab dieser Entfernung nimmt die Immission mit größerem Abstand dann im Idealfall (bei freier Sicht zur Anlage und ohne Reflexionen an umliegenden Gebäuden) gleichmäßig ab.

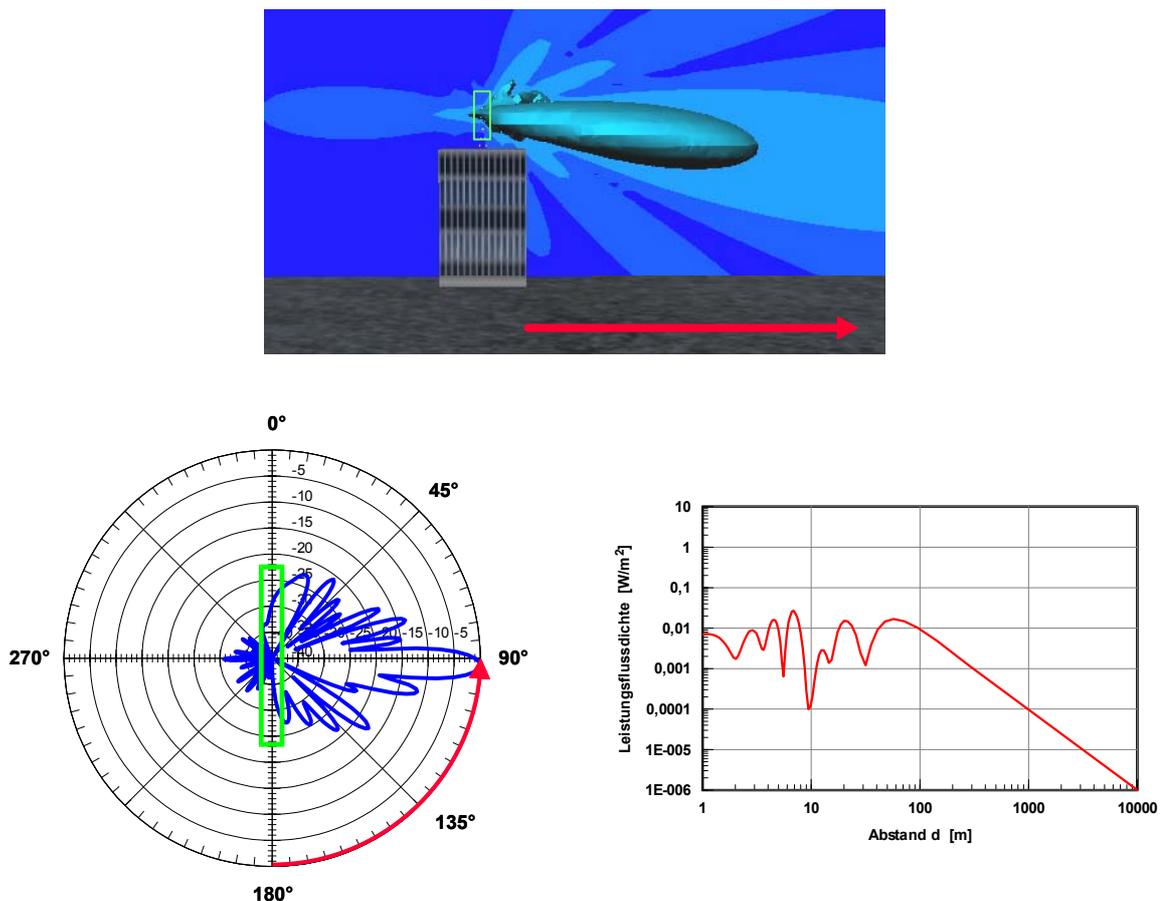


Bild 5.20 Verteilung der Immission als Funktion des Abstandes von der Sendeanlage. Die Sendeantenne ist als grünes Rechteck angedeutet.

5.5.2 Vertikalwinkel

In Bild 5.21 ist die Immission als Funktion des Vertikalwinkels dargestellt. Der Vertikalwinkel ist derjenige Winkel, unter dem man vom Messpunkt aus die Sendeanlage sieht. Geringe Vertikalwinkel bedeuten, dass sich Messpunkt und Anlage auf nahezu der selben Höhe befinden; bei großem Vertikalwinkel besteht zwischen Messpunkt und Sendeanlage ein großer Höhenunterschied. Der Vertikalwinkel kann damit als Maß dafür dienen, ob der Messpunkt in

Hauptstrahlrichtung (Vertikalwinkel im Bereich des Downtilts) oder außerhalb der Hauptstrahlrichtung liegt.

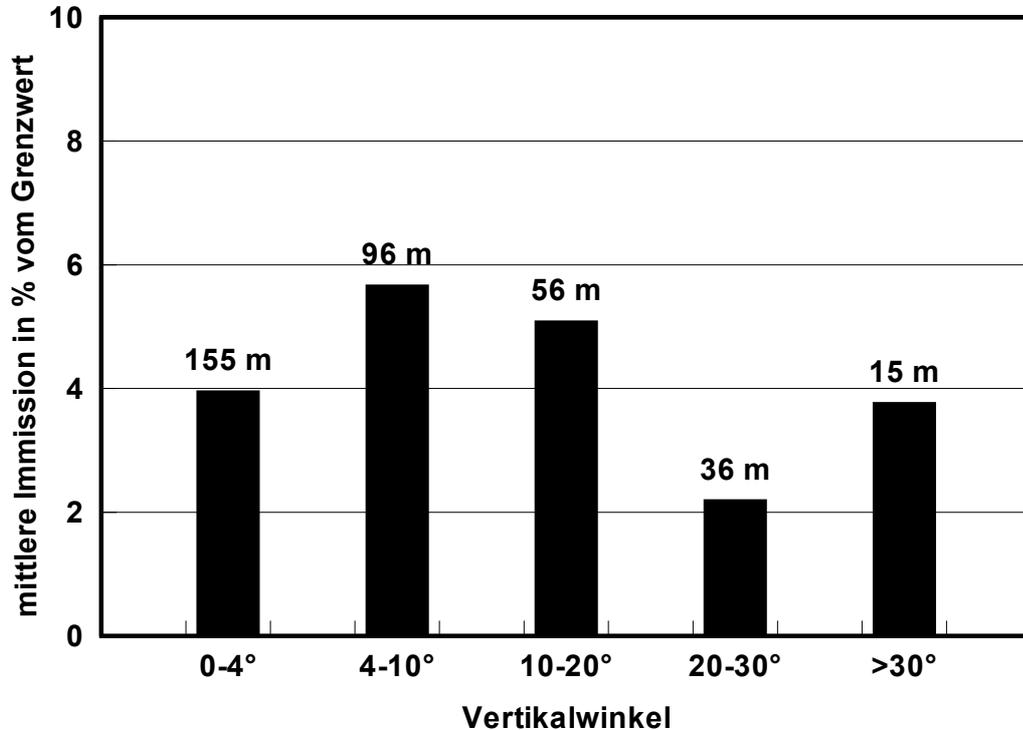


Bild 5.21 Immission als Funktion des Vertikalwinkels, Mobilfunk gesamt, aktueller Ausbauzustand. Über den Balken ist die mittlere Entfernung der Messpunkte zur Sendeanlage bei der jeweiligen Vertikalwinkelklasse angegeben.

In Bild 5.21 ist die Immission jeweils gemittelt über verschiedene Vertikalwinkelbereiche angegeben. Die Angabe des Vertikalwinkels bezieht sich wiederum auf die den Messpunkt maßgeblich beeinflussende Mobilfunksendeanlage. Über den Balken ist die mittlere Entfernung der Messpunkte zur Sendeanlage (radialer Abstand) bei der jeweiligen Vertikalwinkelklasse angegeben. In der Zusammenstellung wurde der MP AC 2.3 ausgespart, da dieser als „untypischer“ Messpunkt (auf einem Hochhausdach direkt vor den Sendeanlagen, vergleichsweise hohe Immissionen vor allem aufgrund des geringen Abstands von etwa 5 m) bei der geringen Stichprobenmenge das Gesamtergebnis verzerrt hätte.

Im Gegensatz zum Einflussparameter Entfernung ist hier ein Trend ablesbar: Offensichtlich ist bei Messpunkten mit Vertikalwinkeln im Bereich üblicher Downtilts (einige Grad) unabhängig von Entfernung und Sichtverhältnissen mit höheren Immissionen zu rechnen als bei größeren Vertikalwinkeln. Dies ist umso bedeutsamer, da die Messpunkte mit niedrigen Vertikalwinkeln im Mittel eine größere Entfernung zur Sendeanlage aufweisen als die Messpunkte mit großem Vertikalwinkel. Letztlich heißt das, dass die Orientierung zur Hauptstrahlrichtung sehr wohl ein wichtiger Einflussparameter für die Größe der Immission ist. Deutlichere Aussagen sind bei einer größeren Messpunktanzahl zu erwarten; z.B. fällt in die Klasse „Vertikalwinkel >30°“ gerade ein einziger Messpunkt.

5.5.3 Sichtverhältnisse

Hindernisse im Ausbreitungsweg zwischen Basisstation und Messpunkt, wie z.B. durch Gebäude oder auch Bäume, führen theoretisch zu einer Abschwächung der Signale und Verringerung der Immission. Die Funkverbindung ist in der Praxis jedoch nicht vollständig unterbrochen, da die Signale der Basisstation oftmals über Reflexionen z.B. an benachbarten Gebäuden (Mehrwegeausbreitung) zum Messpunkt gelangen. Wie sich der abschattende Effekt bezüglich der Immission auswirkt, soll in folgender Darstellung untersucht werden.

In Bild 5.22 ist die Immission als Funktion der Sichtverbindung zu der die Immission maßgeblich bestimmenden Anlage dargestellt.

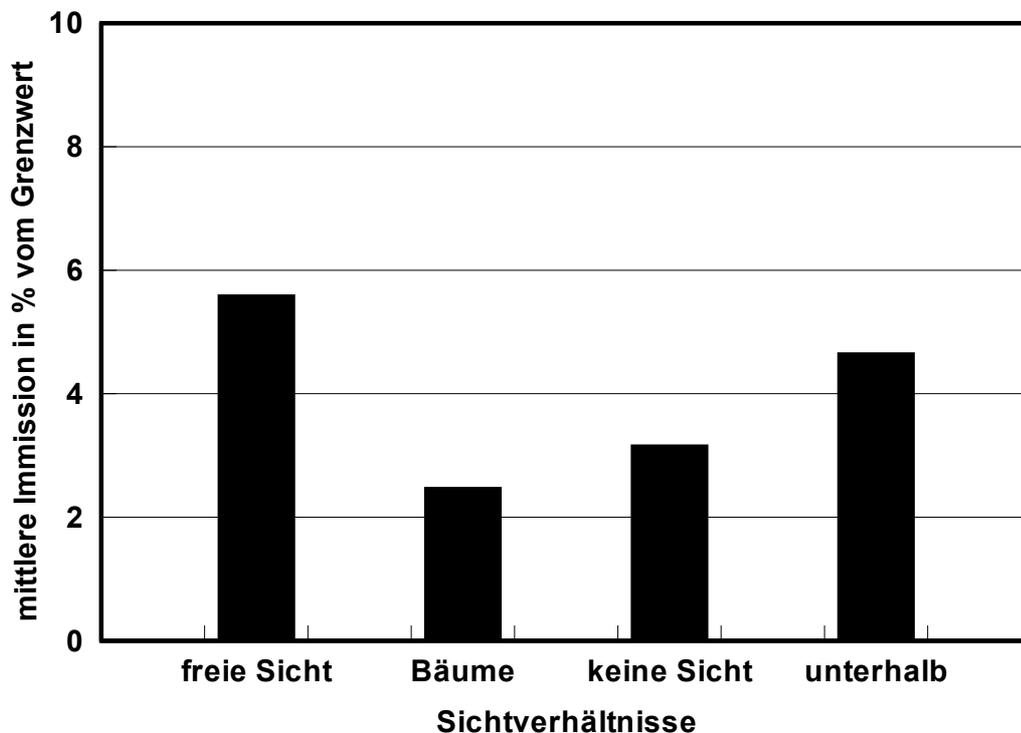


Bild 5.22 Immission als Funktion der Sichtverhältnisse, Mobilfunk gesamt, aktueller Ausbauzustand

Hierbei wird nach verschiedenen Klassen unterschieden:

- freie Sicht: Vom Messpunkt besteht direkte Sicht zur maßgeblichen Sendeanlage
- Bäume: Vom Messpunkt besteht Sicht zur Sendeanlage, die ist aber ganz oder teilweise durch Bäume oder Sträucher verdeckt.
- keine Sicht: Die Sendeanlage ist nicht sichtbar, sondern durch Gebäude verdeckt. Hierunter fällt auch die Kategorie, dass der Messpunkt im Gebäude liegt, auf dem die Anlage steht.
- unterhalb: Diese Unterkategorie aus „keine Sicht“ betrifft diejenigen Messpunkte in Gebäuden, auf denen sich die Sendeanlage befindet.

Auch bei dieser Auswertung ist eine Tendenz dahingehend festzustellen, dass Messpunkte mit freien Sichtbedingungen im Mittel eine größere Immission aufweisen als Messpunkte, bei denen keine Sicht besteht. Interessanterweise ist an Messpunkten im Gebäude, auf dem die Anlage steht, die Immission tendenziell höher als an anderen Messpunkten ohne oder mit eingeschränkter Sicht. Dies könnte auf den geringeren Abstand zur Anlage zurückzuführen sein. Hierbei ist aber wiederum zu berücksichtigen, dass in die Klasse „unterhalb“ lediglich vier Messpunkte fallen, so dass hier die statistische Aussagekraft stark eingeschränkt ist.

5.5.4 Fazit

Von den untersuchten Einflussfaktoren

- radialer Abstand des Messpunktes von der Sendeanlage,
- Vertikalwinkel, mit dem man vom Messpunkt aus die Sendeanlage sieht und
- Sichtbedingungen zwischen Messpunkt und Sendeanlage

ist der *Abstand* im unmittelbaren Umfeld der Anlage (bis ca. 200 m, abhängig von Montagehöhe und Downtilt) offenbar wenig geeignet. Grund dafür ist, dass in diesem Entfernungsbereich die Immission sehr stark durch die Nebenzipfel und Einzüge des Antennendiagramms geprägt ist und einen stark unregelmäßigen Charakter aufweist.

Einen deutlichen Einfluss hingegen haben Vertikalwinkel und Sichtverhältnisse.

Der Vertikalwinkel kennzeichnet dabei die Lage des Messpunktes bezüglich der Hauptstrahlrichtung. Da diese aufgrund der starken Strahlbündelung der Antenne relativ scharf von umliegenden, immissionsschwächeren Bereichen abgegrenzt ist, können wenige Grad Unterschied im Vertikalwinkel Immissionsveränderungen von einigen dB ausmachen.

Objekte wie Gebäude, aber auch Bäume und Sträucher zwischen Messpunkt und Sendeanlage haben einen dämpfenden Einfluss, der sich deutlich in den Messergebnissen widerspiegelt. Die Immissionsreduzierung, die der Messpunkt erfährt, ist dabei abhängig von der Dämpfungswirkung des Objektes, aber auch von der Frage, inwieweit die Signale der Basisstation auch über Reflexionen z.B. an benachbarten Gebäuden zum Messpunkt gelangen können.

Danksagung

Bei der Realisierung dieses Projektes haben zahlreiche Personen und Organisationen mitgewirkt, denen an dieser Stelle ausdrücklich gedankt wird.

Dank gilt vor allem dem Auftraggeber, dem Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen, für die Initiierung und finanzielle Förderung vorliegenden Vorhabens. Frau Dr. Stöcker-Meier, der Projektleiterin auf Seiten des MUNLV, sei besonders für die gute Unterstützung und die persönliche Betreuung sowie für viele Kommentare und Hinweise zur Aufbereitung der Untersuchungsergebnisse gedankt.

Zum Gelingen des Vorhabens beigetragen haben die beteiligten Kommunen Aachen, Bielefeld, Bonn, Düsseldorf, Dortmund, Krefeld, Münster, Oberhausen, Siegen und Wuppertal vor allem durch für ihre Mitarbeit bei der Organisation und Betreuung der Messungen vor Ort. Dies gilt in gleicher Weise auch für die Bewohner derjenigen Orte, in denen Innenraummessungen durchgeführt wurden und die dadurch oftmals „Störungen“ in ihrem Tagesablauf hinnehmen mussten. Die Messungen wurden nicht selten von Vertretern örtlicher Mobilfunk-Initiativen begleitet, denen an dieser Stelle für ihr Interesse und zahlreiche interessante Diskussionen vor Ort gedankt wird.

Nicht zuletzt hat auch die konstruktive Mitarbeit der Mobilfunk Netzbetreiber T-Mobile Deutschland GmbH, Vodafone D2 GmbH, E-Plus Mobilfunk GmbH & Co. KG und O2 (Germany) GmbH & Co. OHG einen großen Anteil am Gesamtprojekt. Dies betrifft vor allem die Bereitstellung der technischen Daten der betrachteten Anlagen, die für eine korrekte messtechnische Erfassung notwendig waren.

Literaturverzeichnis

- [26. BImSchV] **26. BImSchV**, *Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)*, BGBl. Jg. 1996 Teil I Nr. 66, 20.12.1996.
- [99/519/EG] **1999/519/EG**, *Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)*, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 199/59, 30.07.1999.
- [BOR 02-1] **Chr. Bornkessel, J. Kunisch und J. Pamp**, *Elektromagnetische Felder in NRW - Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunk Basisstationen*, Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen, Abschlussbericht *Einfluss von Grenzwertverschärfungen auf die Gesamtmission*, IMST GmbH, Kamp-Lintfort (2002).
- [BOR 02-2] **Chr. Bornkessel, A. Schramm und M. Neikes**, *Elektromagnetische Felder in NRW - Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunk Basisstationen*, Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen, Abschlussbericht *Messverfahren zur Ermittlung der Immissionen durch Mobilfunk Basisstationen*, IMST GmbH, Kamp-Lintfort (2002).
- [BOR 02-3] **Chr. Bornkessel, M. Neikes und A. Schramm**, *Elektromagnetische Felder in NRW - Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunk Basisstationen*, Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen, Abschlussbericht *Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunk Basisstationen*, IMST GmbH, Kamp-Lintfort (2002).
- [BOR 04] **Chr. Bornkessel und M. Schubert**, *Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen*, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Zwischenbericht *Analyse der Immissionsverteilung*, IMST GmbH, Kamp-Lintfort (2004).
- [EMF 3] **Reg TP MV 09/EMF/3**, *Messvorschrift für bundesweite EMVU-Messreihen der vorhandenen Umgebungsfeldstärken*, RegTP, Bonn, Ausgabe Februar 2003.
- [SCHM 04] **G. Schmid, P. Preiner, G. Überbacher und G. Neubauer**, *Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren in Haushalt und Büro*, Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben des Bundesamtes für Strahlenschutz, Seibersdorf (2004); www.bfs.de.
- [WUS 04] **M. Wuschek und C. Bornkessel**, *EMF-Messprojekt Berlin*, Newsletter der Forschungsgemeinschaft Funk e.V., Nr. 4/2004, S. 68-74, Bonn, (2004).

Abkürzungsverzeichnis

BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BCCH	Broadcast Control Channel (engl.) → Sende-Kontrollkanal
CPICH	Common Pilot Channel (engl.) → Pilotkanal bei UMTS
DECT	Digital European Codeless Telephone (engl.) → Schnurlostelefon
GSM	Global System for Mobile Communications (eng.) → Globales System für Mobilkommunikation
HSA	Hauptsendeanlage
MP	Messpunkt
NSA	Nebensendeanlage
RegTP	Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (eng) → Universelles Mobiltelekommunikationssystem

Verzeichnis häufig verwendeter Symbole

d	lateraler Abstand
f	Frequenz
r	radialer Abstand
w	mittlerer Gebäudeabstand
E	Elektrische Feldstärke
H	Magnetische Feldstärke
P	Leistung
S	Leistungsflussdichte
Z ₀	Feldwellenwiderstand des freien Raumes