

EMF-Messprojekt Berlin

Zusammenfassender Bericht



Projektleitung: EM-Institut GmbH
 Carlstr. 5
 D-93049 Regensburg

Projektpartner: IMST GmbH
 Carl-Friedrich Gauß-Str. 2
 D-47475 Kamp-Lintfort

Autoren: Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek
 Dr.-Ing. Christian Bornkessel

Projektnummer: 03/095

Revision: 01

Ort und Datum: Berlin, August 2004

Inhaltsverzeichnis

	Seite
0. Einleitende Zusammenfassung	3
1. Aufgabenstellung	7
1.1 Projektbeschreibung	7
1.2 Fragestellungen	8
1.3 Struktur der Ergebnisdokumentation	9
2. Durchführung der Messungen	10
2.1 Messgrößen für hochfrequente Felder	10
2.2 Verwendete Messgeräte, Messverfahren	10
2.2.1 Immissionsmessungen bei GSM-Basisstationen	12
2.2.2 Immissionsmessungen bei UMTS-Basisstationen	13
2.2.3 Sonstige Funksendeanlagen	15
2.2.4 Nachweisgrenzen	16
2.2.5 Durchführung der Langzeitmessungen	16
2.3 Unterschiede zum Messverfahren der RegTP	19
3. Gewählte Messorte	22
4. Zusammenfassende Darstellung der Messergebnisse	28
4.1 Mobilfunk	28
4.1.1 Summenimmission Mobilfunk (GSM+UMTS)	28
4.1.2 Abhängigkeit der Immission von Sichtverbindung und Entfernung	29
4.1.3 Abhängigkeit der Immission von der Zahl der installierten Systeme	33
4.1.4 Abhängigkeit der Immission vom Vertikalwinkel	36
4.1.5 Immissionsvergleich: Indoor - Outdoor	37
4.1.6 Spannweite der Immission	38
4.1.7 Immissionsvergleich GSM - UMTS	39
4.2 Sonstige Funksendeanlagen	42
4.3 Durch Messung ermittelte Immission im Vergleich zu Berechnungen	46
4.4 Vergleich mit Messkampagnen aus der Vergangenheit	49
5. Literaturverzeichnis	52
6. Anlagen	54
6.1 Übersicht über die 55 Messpunkte und die Anlagenstandorte	54
6.2 Ergebnisse Mobilfunk	56
6.3 Ergebnisse "Sonstige Funksendeanlagen" und Gesamtimmission	57
6.4 Kurzportraits der Auftragnehmer	58

0. Einleitende Zusammenfassung

Unter dem Namen "EMF-Messprojekt Berlin" wurde im Frühjahr 2004 eine umfangreiche Messkampagne in der Umgebung von GSM- und UMTS-Mobilfunksendeanlagen im Stadtgebiet von Berlin durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Projektes sollen die Senatsverwaltung von Berlin sowie die Bezirksumweltämter unterstützen, wenn es um die Beantwortung häufig gestellter Fragen bezüglich der Größenordnung und der räumlichen Verteilung von Immissionen verursacht durch Mobilfunksender geht.

Aufgabenstellung der Untersuchungen war, die Größe der Immissionen an Punkten in unmittelbarer Umgebung von Mobilfunksendeanlagen eingehend zu analysieren. Es stand dabei nicht im Vordergrund, die Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte an den Messorten in der Umgebung zu überprüfen. Dies wird bereits durch die Ermittlungen der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) im Rahmen des Standortbescheinigungsverfahrens ausreichend konservativ durchgeführt.

Zusätzlich zu den Mobilfunkimmissionen wurden an den Messpunkten auch die Immissionen ermittelt, die dort durch Sender für Rundfunk und das neue digitale Fernsehen (DVB-T) entstehen sowie durch DECT-Schnurlostelefonssysteme verursacht werden.

Die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung legte mit den Bezirken von Berlin für die Untersuchungen insgesamt 25 Messorte fest. An diesen wurden Immissionsmessungen an insgesamt 55 Punkten durchgeführt. 60 Prozent der Messpunkte befanden sich innerhalb von Gebäuden.

Langzeitmessungen über einen Zeitraum von bis zu sieben Tagen an insgesamt sieben Messpunkten lieferten zusätzlich ein Bild über die zeitliche Variabilität der Immissionen, verursacht durch die betrachteten Funksendeanlagen.

Zusammenfassend lässt sich folgendes feststellen:

Immissionen durch Mobilfunk (Summe aus GSM und UMTS)

Es wurden an den 55 Messpunkten Immissionswerte gemessen, die im Durchschnitt etwa 4,8 Prozent vom Grenzwert betragen (bezogen auf die elektrische Feldstärke, bei Maximalausbau und höchster betrieblicher Anlagenauslastung der verursachenden Stationen). Dieser Wert von etwa 4,8 Prozent darf keinesfalls als repräsentativ für das Stadtgebiet von Berlin gesehen werden. Die Messpunkte lagen meist in unmittelbarer Umgebung von Mobilfunkantennen. Deshalb wurden dort in der Regel auch überdurchschnittlich hohe Immissionswerte ermittelt. Im Mittel wird in Berlin eine deutlich geringere Immission durch Mobilfunk auftreten.

Nur an drei von 55 Messpunkten konnten Immissionen größer als zehn Prozent vom Grenzwert gefunden werden. Der absolut größte Wert der Messkampagne betrug 15,6 Prozent.

Vergleich der Immissionen von GSM und UMTS

Immissionen verursacht durch GSM- bzw. UMTS-Sender halten sich derzeit an den Messpunkten in etwa die Waage. Eine endgültige Aussage über die Immissionsaufteilung ist allerdings im Moment nicht möglich, da die UMTS-Netze in Berlin noch nicht vollständig aufgebaut sind.

Einflussfaktoren für die Größe der Immissionen am Messpunkt

In dem hier untersuchten Entfernungsbereich zwischen Mobilfunksendeanlage und Messpunkt (maximal bis etwa 150 Meter) liefert die alleinige Betrachtung des horizontalen Abstandes zwischen beiden kein geeignetes Kriterium zur Beurteilung der Größe der entstehenden Immissionen. Dagegen kann der Vertikalwinkel, unter dem der Messpunkt von der Antenne der Anlage aus gesehen erscheint, zusammen mit dem Horizontalabstand, eher als Bewertungsgröße für die entstehenden Immissionen herangezogen werden. Im Mittel ergeben sich bei Orten, die bezüglich der Antenne unter einem flachen Winkel erscheinen (das heißt, der Höhenunterschied zwischen Messpunkt und Antenne ist wesentlich kleiner als die Entfernung zwischen beiden), größere Immissionen als an Orten in vergleichbarer Entfernung, jedoch mit großem Vertikalwinkel bezüglich der Antennen.

Auch die Anzahl der in der Umgebung installierten Anlagen wird bei den Anwohnern oft für die Bewertung der Größe der Immissionen herangezogen. Die gängige Meinung lautet, dass bei einer großen Anzahl von Antennen die Immissionen in der Umgebung auch besonders hoch sein müssen. Durch die Messergebnisse konnte dieser Zusammenhang nicht belegt werden. Als Beurteilungsmaß für die Größe der Immission ist die Anzahl der in der Umgebung installierten Anlagen offensichtlich kaum geeignet.

Schwankungsbreite der Immissionen an einem Messpunkt

Mobilfunkanlagen geben auch Signale in die Umgebung ab, wenn sie gerade keinen Telefon- bzw. Datenverkehr abwickeln. Festgestellt wurde, dass sich die Feldstärkeimmission (gegenüber dem Minimalwert bei fehlendem Verkehr) unter Volllast im aktuellem Ausbauzustand der Standorte im Mittel etwa verdoppelt (d.h. die maximale Schwankungsbreite beträgt derzeit etwa 6 dB).

Im Vergleich zum aktuellen Ausbauzustand führen die derzeit noch nicht realisierten, aber bereits von der RegTP genehmigten Kapazitätserweiterungen zu einer Immissionszunahme von durchschnittlich etwa 3 dB. Anders ausgedrückt: Die Mobilfunkanlagen werden derzeit im Mittel mit etwa 50 Prozent der von der RegTP genehmigten Leistung betrieben.

Vergleich mit Immissionsberechnungen

Bei 53 von 55 Punkten liefert eine an das Verfahren der RegTP angelehnte rechnerische Immissionsprognose größere Feldstärkewerte, als messtechnisch festgestellt wurde. Im Mittel wurde nur 46 Prozent vom Prognosewert vor Ort durch Messung ermittelt, was bedeutet, dass die Berechnungen die Immissionen durchschnittlich um etwa 6,7 dB überbewerten.

An zwei Messpunkten wurden etwas größere Immissionswerte ermittelt, als die Berechnung liefert. Die Unterschätzung der Immissionen an diesen beiden Punkten ist allerdings als gering zu bezeichnen. Im Mittel wurde dort um 1,8 dB mehr durch Messung festgestellt, als die Berechnung prognostizierte.

An vier Punkten in Gebäuden, auf deren Dächern Mobilfunkantennen installiert sind, ergab sich mit einem mittleren Unterschiedsfaktor (durch Messung ermittelt / Berechnung) von 0,06 (d.h. 6 %) eine besonders große Differenz zwischen Messung und Berechnung (entspricht etwa 24 dB). Da das angewendete Rechenverfahren nur für Immissionsabschätzungen im nahen Umfeld der Sendeantennen ausgelegt ist und auch keine Gebäudedämpfung berücksichtigt, wurden bei derartigen Situationen die zu erwartenden Immissionen also deutlich überschätzt.

Insgesamt gesehen erscheint das im Rahmen dieses Projektes angewendete Rechenverfahren offensichtlich als ein gut geeignetes Mittel für eine ausreichend konservative Immissionsprognose. Es kann jedoch nicht völlig ausgeschlossen werden, dass nachträgliche Messungen in seltenen Einzelfällen etwas höhere Immissionswerte ergeben als im Vorfeld rechnerisch prognostiziert. Im Durchschnitt betrachtet, liefern die rechnerischen Prognosen jedoch insbesondere bei fehlender Sichtverbindung eine nicht unerhebliche Überschätzung der Immission.

Immissionen, verursacht durch sonstige Funksendeanlagen

Die mittlere Immission, verursacht durch sonstige Funksendeanlagen, ist an den untersuchten Punkten (46 der 55 Messpunkte) mit einem Wert von zirka 1,2 Prozent vom Grenzwert (bezogen auf die elektrische Feldstärke) etwa um den Faktor 4,3 (d.h. ca. 12,7 dB) niedriger, als die an diesen Punkten gefundene mittlere Immission durch Mobilfunk bei Maximalausbau (zirka 5,1 Prozent).

Nur an zwei Messpunkten dominierten die Immissionen, verursacht durch sonstige Funksendeanlagen gegenüber den Feldern des Mobilfunks.

Diese Dominanz des Mobilfunks gegenüber den sonstigen Funksendeanlagen darf allerdings keinesfalls als repräsentativ für das Stadtgebiet von Berlin gesehen werden. Man bedenke, dass die Messpunkte bewusst in besondere Nähe zu Mobilfunksendeanlagen gelegt wurden, und daher grundsätzlich überproportionale Immissionen durch Mobilfunksender zu erwarten waren, während gleichzeitig kein besonderes Augenmerk auf eine besondere Nähe zu sonstigen Funksendeanlagen gelegt wurde.

Immissionen, verursacht durch DECT-Telefonsysteme spielten bei dieser Messkampagne eine untergeordnete Rolle. Auch hier muss allerdings berücksichtigt werden, dass kein spezielles Augenmerk auf eine besondere Nähe zu DECT-Anlagen gelegt wurde.

Weitere Maßnahmen

Da der UMTS-Ausbau an einigen relevanten Anlagenstandorten zum Zeitpunkt der Messungen noch nicht abgeschlossen war (manche Betreiber hatten ihre UMTS-Anlagen dort noch nicht in Betrieb genommen), ist durchaus anzuraten, an einigen Messpunkten die Immissionserhebungen in etwa 2 Jahren zu wiederholen und eventuell noch weitere Orte in die Untersuchungen einzubeziehen, um die Entwicklung des Ist-Zustandes der Feldstärkewerte zu beobachten.

1. Aufgabenstellung

1.1 Projektbeschreibung

Die EM-Institut GmbH, Regensburg wurde von den vier deutschen Mobilfunknetzbetreibern (T-Mobile, Vodafone, E-Plus und O₂ Germany) in Abstimmung mit dem Berliner Senat für Stadtentwicklung beauftragt, im Frühjahr 2004 eine umfangreiche Messkampagne im Stadtgebiet von Berlin zur Ermittlung der hochfrequenten Felder, verursacht durch Funksendeanlagen, zu planen und durchzuführen. Als Projektpartner des Auftragnehmers war die IMST GmbH, Kamp-Lintfort an den Untersuchungen im nennenswerten Umfang beteiligt.

Im Rahmen dieses "EMF-Messprojektes Berlin" sollen die Immissionen sowohl von GSM-Mobilfunkanlagen als auch von UMTS-Stationen, die seit einigen Monaten ebenfalls in größerer Zahl in Berlin betrieben werden, erfasst werden.

Zusätzlich zu den Feldern des Mobilfunks sind an den Messpunkten auch die Immissionen zu bestimmen, die dort von Sendern für Rundfunk und das neue digitale Fernsehen (DVB-T), sowie von DECT-Schnurlostelefonssystemen erzeugt werden. Insbesondere die Immissionen des neuen digitalen Fernsehens (DVB-T), das seit 2003 in Berlin als erstes Bundesland in Deutschland flächendeckend ausgestrahlt wird, sollen mit in die Erfassungen einbezogen werden.

Somit handelt es sich bei dem "EMF-Messprojekt Berlin" um die bundesweit erste umfangreiche Messkampagne, bei der neben den etablierten Funksystemen auch die neuen Technologien UMTS und DVB-T in Bezug auf ihre Immissionen untersucht werden.

Grundsätzlich sind die Resultate derartiger Messkampagnen sehr stark abhängig von der Wahl der Messpunkte, was im Kapitel 4.4 dieses Berichtes an Beispielen noch näher erläutert wird. Absicht dieser Messaktion war es nicht, mittels der Messungen die durchschnittliche Immission der Bürger Berlins bezüglich hochfrequenter Felder zu bestimmen (eine Fragestellung die den zeitlichen und finanziellen Rahmen des Projektes sprengen würde). Vielmehr geht es bei diesem Projekt um Immissionsmessungen an Orten in unmittelbarer Umgebung von Mobilfunksendeanlagen (Abstand typisch kleiner 150 Meter). Die Messpunkte wurden also bewusst in Zonen gelegt, in denen mit überdurchschnittlich hohen Immissionen durch Mobilfunksender gerechnet werden muss. Der Hauptgrund für diese Vorgabe zur Messpunkt-auswahl ist die Tatsache, dass die meisten Anfragen und Beschwerden bei den zuständigen Umweltämtern der Stadt von Bürgern stammen, die in unmittelbarer Nähe zu Mobilfunkanlagen wohnen. Daher erscheint es sinnvoll, mittels der hier durchgeführten Untersuchungen insbesondere dieses Immissionsszenario näher zu beleuchten.

Insgesamt wurden für die Messungen 25 Messorte durch die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung mit den Bezirken festgelegt. An den 25 Messorten wurden Immissionsmessungen an insgesamt 55 Punkten durchgeführt, wobei sich 60 Prozent der Messpunkte im Inneren von Gebäuden befanden.

Eine wichtige Zusatzaufgabe im Rahmen des "EMF-Messprojektes Berlin" bestand in der Durchführung von Langzeitmessungen über 24 Stunden (Fünf Messpunkte) bzw. sieben Tage (Zwei Messpunkte), um die zeitliche Variabilität von Hochfrequenzimmissionen exemplarisch verdeutlichen zu können.

Weiterhin bestand die Aufgabe, die Resultate des "EMF-Messprojektes Berlin" nicht nur zahlenmäßig zu dokumentieren, sondern auch intensiv auszuwerten. Unter anderem sollten die durch Messung gefundenen Immissionswerte mit den Resultaten von rechnerischen Prognosewerten verglichen werden.

Die Ergebnisse dieses Projektes sollen die Senatsverwaltung von Berlin sowie die Bezirks-umweltämter unterstützen, wenn es um die Beantwortung häufig gestellter Fragen bezüglich der Größenordnung und der räumlichen Verteilung von Immissionen durch Mobilfunksender geht.

1.2 Fragestellungen

Die Resultate des "EMF-Messprojektes Berlin" sollen bei der Beantwortung der folgenden Fragen hilfreich sein:

- Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert, sind die Immissionen, verursacht durch Mobilfunksendeanlagen an Punkten in unmittelbarer Nähe zu den Antennenstandorten (Abstand typisch kleiner 150 Meter)?
- Wie verteilen sich die Immissionen auf GSM- bzw. UMTS-Sendeanlagen?
- Wie groß ist die Spannweite der Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen (d.h. welche Immission ist am Messpunkt minimal möglich, bzw. welche Immission entsteht am Messpunkt bei maximaler betrieblicher Anlagenauslastung und Maximalausbau der verursachenden Sendeanlagen)?
- Ist eine Abhängigkeit der Immission von Entfernung bzw. Sichtverbindung zur verursachenden Station erkennbar?
- Ist ein Zusammenhang zwischen der Anzahl der in der Umgebung betriebenen Mobilfunkanlagen und der Größe der am Messpunkt gefundenen Immission zu erkennen?
- Ergibt sich eine Abhängigkeit der Größe der Immission vom Vertikalwinkel, unter dem der Messpunkt vom Antennenstandort aus gesehen erscheint?
- Welche Immissionen erzeugen an den Messpunkten, im Vergleich zum Mobilfunk, die sonstigen Funksendeanlagen für den Lang-/Mittelwellenrundfunk, das UKW- und DAB-Radio, das digitales Fernsehen (DVB-T) sowie Schnurlostelefone (DECT-Standard)?
- Wie verhalten sich die messtechnisch gefundenen Mobilfunkimmissionen im Vergleich zu den Resultaten aus rechnerischen Immissionsprognosen, die sich an den Berechnungsverfahren der RegTP (Standortbescheinigungsverfahren) orientieren?

1.3 Struktur der Ergebnisdokumentation

Die Ergebnisse des "EMF-Messprojektes Berlin" werden in folgenden Einzelunterlagen dokumentiert:

1. Ein zusammenfassender Bericht mit einer Beschreibung der Aufgabenstellung des Projektes und der wesentlichen Randbedingungen zur Messdurchführung sowie einer Vorstellung der eingesetzten Messausrüstung und einer Überblicksdarstellung der wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Messungen sowie der sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen. Es handelt sich dabei um den hier vorliegenden Bericht.
2. Insgesamt 25 Einzelberichte stellen in ausführlicher Form die Untersuchungen und die sich ergebenden Resultate an den 25 Messorten vor. Jeder dieser Berichte hat einen Umfang von etwa zehn bis fünfzehn Seiten.
3. Die Anlagen zu den 25 Einzelberichten sind als separate Dokumente vorhanden. Darin finden sich sehr ausführliche Darstellungen der Einzelmessresultate vor Ort sowie die Dokumentation der für die Messpunkte durchgeführten Immissionsberechnungen. Die Anlagen zu den Einzelberichten haben ebenfalls einen Umfang von jeweils etwa 10 bis 15 Seiten.
4. Für einen schnellen Überblick über die durchgeführten Mobilfunkimmissionsuntersuchungen stehen zusätzlich 25 Kurzdokumentationen mit einem Umfang von jeweils etwa zwei bis drei Seiten, sowie eine Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen zur Verfügung.

Alle Dokumente sind auch in elektronischer Form (pdf-Format) verfügbar.

2. Durchführung der Messungen

2.1 Messgrößen für hochfrequente Felder

Für die Beurteilung der Feldintensität in der Umgebung von Hochfrequenzquellen werden üblicherweise die folgenden Größen verwendet [1]:

- Der Effektivwert der elektrischen Feldstärke E in Volt pro Meter.
- Der Effektivwert der magnetischen Feldstärke H in Ampere pro Meter.
- Die Leistungsflussdichte S in Watt pro Quadratmeter.

Die Leistungsflussdichte in Watt pro Quadratmeter gibt die in einer Fläche von einem Quadratmeter fließende Leistungsmenge der durch die elektromagnetische Welle transportierten Hochfrequenzenergie an.

Im Fernfeld einer Antenne stehen Leistungsflussdichte, elektrische und magnetische Feldstärke in einem festen Verhältnis zueinander. Alle drei Größen sind im Fernfeld also äquivalent. Bei dem hier durchgeführten Typ von Messungen ist allgemein von Fernfeldbedingungen auszugehen. Es genügt also die Angabe einer dieser drei Größen. In den Auswertungen dieser Messkampagne wird die elektrische Feldstärke in Volt/m (oder im logarithmischen Maß in $\text{dB}\mu\text{V/m}$) als Größe für die Immissionswerte verwendet.

Zur besseren Verständlichkeit werden im folgenden keine absoluten Feldstärkewerte angegeben, sondern es ist aufgeführt, wie viel Prozent bezüglich der Grenzwerte nach 26. BImSchV [2] bzw. EU-Ratsempfehlung [3] an den einzelnen Messpunkten jeweils erreicht werden.

2.2 Verwendete Messgeräte, Messverfahren

Die Messungen wurden frequenzselektiv mit Spektrumanalysator und kalibrierter logarithmisch-periodischer Antenne (bei GSM und UMTS) bzw. bikonischer Antenne (bei Langwelle, Mittelwelle, UKW, DAB 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 [4,5]. 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 Kapitel 2.2.2.

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. 1: Eingesetzte Messmittel

Zusätzlich wurden zur Dokumentation der Messorte (Entfernung, Horizontal- und Vertikalwinkel zu den Mobilfunkantennen in der Umgebung) ein Laser-Entfernungsmesser, ein Fernglas mit integriertem Kompass 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. 2: 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: Einstellungen am Spektrumanalysator (Langwelle, Mittelwelle, UKW)

Anmerkung: UMTS- Signale wurden nicht mit dem Spektrumanalysator sondern mit einem speziellen Messsystem gemessen (siehe Kap. 2.2.2).

Die für die Langzeitmessungen eingesetzten Geräte werden im Kapitel 2.2.5 eigens beschrieben.

Bei derartigen Immissionsmessungen muss mit einer Messunsicherheit von typisch ± 3 dB (d.h. etwa ± 41 % bezüglich der Feldstärke) gerechnet werden [4,5]. Gründe dafür sind z.B. unvermeidbare Restfehler bei der Kalibrierung der Messantennen und -kabel, die entsprechende Messtoleranz des Spektrumanalysators und die Unsicherheit der Probennahme. Da alle gefundenen Immissionswerte deutlich unter dem Grenzwert bleiben, ist es nach [4] nicht zwingend erforderlich, die Messunsicherheit auf die Messwerte aufzuschlagen. Im Rahmen dieser Messkampagne wurden daher alle gefundenen Immissionswerte nicht um den Betrag der Messunsicherheit erhöht. Dadurch ist auch eine bessere Vergleichbarkeit mit anderen Messkampagnen (z.B. [6]) gegeben.

2.2.1 Immissionsmessungen bei GSM-Basisstationen

Die Grenzwerte für elektromagnetische Felder in der Umgebung von Funkanlagen 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 [4,5,7]:

- 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" 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 also durch Messung der Immission des Signalisierungskanals und anschließender Multiplikation mit dem Korrekturfaktor (Wurzel aus der Zahl der insgesamt genehmigten Kanäle je Zelle). Dieser Wert muss letztlich für den Vergleich mit den Grenzwerten der 26. BImSchV bzw. der EU-Ratsempfehlung herangezogen werden.

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

2.2.2 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"). Unter Zuhilfenahme eines der-

artigen Gerätes wird am Messpunkt die Feldstärke jedes vorhandenen CPICH festgestellt. Dieser Wert stellt näherungsweise auch die Minimalimmission einer UMTS-Anlage dar. Die Hochrechnung auf die maximale Anlagenauslastung kann dann mittels Multiplikation eines Faktors, der sich aus der aktuell eingestellten Leistung des CPICH und der maximal möglichen Sendeleistung der Anlage ergibt, durchgeführt werden [4,8,9]. 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. In Berlin wurde ein derartiges codeselektives Messsystem, bestehend aus einem Radio Network Analyzer als HF-Frontend und der Steuerungssoftware RFEX von Rohde & Schwarz eingesetzt. Nach unserem Kenntnisstand wurden im Rahmen dieser Messkampagne erstmalig in Deutschland im größeren Stil codeselektive Immissionsmessungen in der Umgebung von UMTS-Mobilfunksendeanlagen durchgeführt.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass beim GSM- bzw. UMTS-Mobilfunk drei unterschiedliche Immissionswerte dokumentiert werden können:

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 Mobilfunksanlagen die für diesen Ausbauzustand größtmögliche Gesprächsanzahl 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 Ausbaustands) maximal am Messpunkt erzeugt werden kann. Sie tritt dann auf, wenn von den betreffenden Anlagen die für Maximalausbau größtmögliche Gesprächszahl bzw. Datenmenge abgewickelt wird und alle Teilnehmer mit maximal möglicher Sendeleistung versorgt werden. Dieser Zahlenwert ist nach 26. BImSchV für die Bewertung des Immission am Messpunkt zu verwenden. Die "maximale Immission" wird aus der vor Ort gemessenen "minimalen Immission" und den technischen Anlagendaten (maximaler Ausbaustand) hochgerechnet.

In den detaillierten Messberichten sind jeweils diese drei Immissionswerte angegeben.

2.2.3 Sonstige Funksendeanlagen

Die Immissionen, verursacht durch sonstige Sendeanlagen (Langwellen-, Mittelwellen-, UKW- DAB- und DVB-T-Sender) werden 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 [10]. Da jedoch gemäß [2,3] 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:

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

E_B = Beurteilungswert

E_{gem} = gemessene Feldstärke

Die in den Einzelberichten und in dieser zusammenfassenden Darstellung angegebenen Immissionen von DECT-Basisstationen sind bereits die gemäß Formel (1) korrigierten Werte.

2.2.4 Nachweisgrenzen

Beliebig kleine Feldstärken können mit der hier angewendeten Messmethode nicht erfasst werden. Die Nachweisgrenze wird hauptsächlich durch das Eigenrauschen des Analysators, die Dämpfung des Messkabels und den Gewinn der Messantenne bestimmt. Für die verschiedenen Funkdienste ergeben sich folgende Nachweisgrenzen, die alle mindestens um den 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)
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. 4: Nachweisgrenzen

2.2.5 Durchführung der 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, wobei insbesondere ihre Vor- und Nachteile vergleichend gegenübergestellt werden:

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

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

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 aufgegliedert 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 Volt/m (120 dB μ V/m) nimmt die Messunsicherheit deutlich zu. Felder unter 0,1 Volt/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 EMF-Messprojektes Berlin wurden breitbandige Immissionsmessungen an drei Punkten (Messpunkte 07b, 09b und 23a) über jeweils 24 Stunden, sowie an einem Messpunkt (Messpunkt 25a) über 7 Tage mit dem Feldstärkemessgerät EMR 300 von Narda STS durchgeführt (Frequenzbereich: 100 kHz bis 3 GHz).

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 Gesamtmission. 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 Volt/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 Möglichkeit 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 wurden

daher auch an drei Punkten frequenzselektive Erfassungen der Immission über 24 Stunden (Messpunkte 01a und 02a) bzw. sieben Tage (Messpunkt 13a) im Frequenzbereich (100 KHz) 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.

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) erreichen [11,12,13,14]. Die absoluten Resultate von Langzeitmessungen sind in ihrer Qualität nicht mit den 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.

2.3 Unterschiede zum Messverfahren der RegTP

Die RegTP hat für Messungen der Umgebungsfeldstärke, verursacht durch hochfrequente Felder von Funksendeanlagen mit der "RegTP MV09/EMF/3" eine eigene Messvorschrift veröffentlicht [15], nach der z.B. die Messungen, die im Internet auf der Homepage der RegTP veröffentlicht sind, durchgeführt werden. Will man die im Rahmen des "EMF-Messprojektes Berlin" gefundenen Immissionswerte mit Ergebnissen auf der RegTP-Homepage vergleichen, muss man berücksichtigen, dass die hier dokumentierte Messkampagne teilweise Messverfahren anwendet, die deutlich von den Vorgaben der RegTP-Vorschrift abweichen. Daher sind im folgenden die wesentlichen Unterschiede zwischen beiden Vorgehensweisen dargestellt:

Wichtige Vorgaben der RegTP-Messvorschrift:

- Die Messvorschrift beschreibt die Vorgehensweise bei Messungen im Rahmen der bundesweiten EMVU-Messreihen der vorhandenen Umgebungsfeldstärken.
- Gemessen wird an Punkten im Freien, nicht innerhalb von Gebäuden.
- "Diese [Messvorschrift] ist nicht zur vollständigen Untersuchung von Senderstandorten im Rahmen des Standortbescheinigungsverfahrens geeignet" (Originalzitat aus der Messvorschrift).
- Die Messantenne ist auf einem Stativ in 1,5 Meter Höhe über Grund montiert. Die verschiedenen Polarisierungen und Einfallrichtungen werden durch Drehen und geeignetes Ausrichten der Antenne berücksichtigt ("Drehmethode").
- Eine Hochrechnung der Immission auf maximale betriebliche Anlagenauslastung findet nicht statt.
- Am Messgerät wird der "Peak-Detektor" und die "Max-Hold-Funktion" eingestellt.
- Es wird jeweils die Summenimmission am Messort angegeben, eine Unterscheidung nach einzelnen Verursachern (Rundfunk, TV, Mobilfunk etc.) findet nicht statt.

Fazit:

Messungen nach Maßgabe der RegTP MV09/EMF/3 liefern für den Messort einen typischen Immissionswert, quasi als "Umweltindikator", der in der groben Größenordnung sicherlich korrekt ist. Diese Messvorschrift sucht einen Kompromiss bezüglich zeitlichem Aufwand (Kosten) und Präzision der Messung. Es wird nicht der Anspruch erhoben, dass mit derartigen Messungen die maximale Immission an einem Messort ermittelt wird (weder bezüglich der zeitlichen noch bezüglich der räumlichen Immissionsschwankungen).

Messverfahren im Rahmen des EMF-Messprojektes Berlin:

- Die Messungen folgen möglichst genau den Vorgaben der 26. BImSchV und der DIN VDE 0848, Teil 1. Besonderes Augenmerk wird auf die Ermittlung der Immissionswerte bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung gelegt. Über- oder Unterbewertungen der Immission sollen möglichst vermieden werden.
- Es werden nicht nur Punkte im Freien, sondern auch solche im Gebäude vermessen. Die Messpunkte befinden sich teilweise an Orten, an denen mit besonders hohen Immissionen durch Mobilfunksender gerechnet werden muss (Messungen in oberen Stockwerken, auf Balkonen und Dachterrassen in unmittelbarer Nähe von Mobilfunkantennen), so dass im Mittel mit größeren Immissionen zu rechnen ist, als sich bei den Messungen der RegTP (Messungen immer in Bodennähe) ergeben.

- Die Messantennen werden nicht auf einem Stativ montiert, sondern es wird mittels handgeführter Antennen das gesamte Messvolumen abgesucht ("Schwenkmethode"), so dass mit größtmöglicher Sicherheit die maximalen Immissionswerte im Raum gefunden werden. Im Fall von speziellen Untersuchungen innerhalb von Räumen (z.B. bei Messungen im Rahmen des Standortbescheinigungsverfahrens), wendet die RegTP ebenfalls die "Schwenkmethode" an.
- Durch geeignete Mess- und Auswerteverfahren werden Fehlbewertungen der Immissionen von GSM- und UMTS-Anlagen minimiert. Es wird beispielsweise der RMS-Detektor des Spektrumanalysators verwendet, wodurch insbesondere bei den modernen breitbandigen Funksystemen (UMTS, DAB, DVB-T) eine Fehlbewertung vermieden wird.
- Die Messungen liefern bei den Mobilfunksignalen für jeden Messort drei zuverlässige Werte, nämlich die minimal auftretende Immission, die maximal auftretende Immission bei aktuellem Ausbauzustand der verursachenden Anlagen, sowie die maximal auftretende Immission, falls die verursachenden Anlagen auf den, von der RegTP genehmigten maximalen Ausbauzustand gebracht werden (höchste betriebliche Anlagenauslastung), was bei vielen Mobilfunkstandorten derzeit noch nicht der Fall ist.
- Zusätzlich zur Darstellung der Summenimmission am Messort wird eine Unterscheidung nach einzelnen Verursachern (Rundfunk, TV, Mobilfunk etc.) durchgeführt.

Fazit:

Das im Rahmen des "EMF-Messprojektes Berlin" angewendete Messverfahren stellt sicher, dass die Möglichkeit einer Fehlbewertung der Hochfrequenzimmissionen minimiert wird. Zum anderen ist sichergestellt, dass die maximal mögliche Immission an den einzelnen Messpunkten bestimmt wird.

3. Gewählte Messorte

Aus einer Liste, die aus Vorschlägen der bezirklichen Umweltämter Berlins erstellt worden war, wurden von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung in Abstimmung mit den Umweltämtern insgesamt 25 Messorte für die Messungen ausgewählt. Die Kriterien, nach denen bestimmte Orte auf die Auswahlliste gesetzt wurden, sind von sehr unterschiedlicher Natur. Als "interessant" für die Messkampagne kann ein Ort sein, weil

- es sich um eine "empfindliche Einrichtung" (z.B. Kindergarten, Schule, Altenheim, Krankenhaus, etc.) handelt, die sich in unmittelbarer Nähe zu einer Mobilfunkstation befindet,
- die Anwohner besondere Befürchtungen bezüglich der Immissionen, verursacht durch die betreffende Mobilfunkstation dem zuständigen Bezirk mitgeteilt haben (Messung aufgrund besonderem öffentlichen Interesse),
- in der Umgebung des Messortes besonders viele Mobilfunkanlagen betrieben werden.
- Zusätzlich wurden einige Messorte auch deshalb ausgewählt, um durch die dort gefundenen Messergebnisse repräsentative Daten für Situationen zu erhalten, die immer wieder auftreten und regelmäßig zu Anfragen bei den Bezirken führen (z.B. Mobilfunkantenne auf dem Gebäudedach: Wie groß sind die Immissionen in den darunter liegenden Wohnungen bzw. in den einzelnen Stockwerken des Nachbarhauses?)

An jedem Messort wurden an zwei Messpunkten die hochfrequenten Immissionen erfasst. Eine Ausnahme von dieser Regel bilden die Messorte 4 und 23. Hier wurden spezielle Messreihen in verschiedenen Stockwerken des gleichen Gebäudes durchgeführt, um die Höhenabhängigkeit der Immissionen durch Mobilfunk zu verdeutlichen (Messpunkte 4b bis 4e und 23b bis 23d), so dass sich insgesamt 55 Messpunkte ergeben.

Die Messungen wurden dabei teils im Gebäudeinneren (33 Messpunkte), teilweise auch im Freien (22 Messpunkte) durchgeführt. Die folgenden beiden Tabellen geben die grundsätzliche Klassifizierung und die Anschriften der Messorte wieder:

MP-Nr	Schule/ Kindergarten	Wohn- u. Arbeitsraum	Balkon/Dachterrasse Treppenhaus/Flur	Garten/Terrasse
1a			1	
1b		1		
2a			1	
2b		1		
3a			1	
3b		1		
4a		1		
4b			1	
4c			1	
4d			1	
4e			1	
5a	1			
5b	1			
6a	1			
6b	1			
7a			1	
7b			1	
8a		1		
8b		1		
9a	1			
9b	1			
10a		1		
10b				1
11a		1		
11b				1
12a	1			
12b	1			
13a		1		
13b				1
14a		1		
14b		1		
15a			1	
15b		1		
16a	1			
16b	1			
17a			1	
17b		1		
18a			1	
18b		1		
19a	1			
19b	1			
20a	1			
20b	1			
21a		1		
21b			1	
22a		1		
22b			1	
23a		1		
23b		1		
23c		1		
23d		1		
24a		1		
24b		1		
25a		1		
25b			1	
Summen	14	23	15	3

Tab. 5: Klassifizierung der 55 Messpunkte

Nr.	Messort	PLZ	Bezirk
MP 01	<p><i>Die in dieser Spalte enthaltenen Angaben wurden gelöscht, da diese personenbezogene Daten im Sinne des Berliner Datenschutzgesetzes darstellen.</i></p>	13585	Spandau
MP 02		13587	Spandau
MP 03		13465	Reinickendorf
MP 04		12049	Pankow
MP 05		13403	Reinickendorf
MP 06		10439	Pankow
MP 07		10439	Pankow
MP 08		12679	Marzahn-Hellersdorf
MP 09		12623	Marzahn-Hellersdorf
MP 10		12623	Marzahn-Hellersdorf
MP 11		12683	Marzahn-Hellersdorf
MP 12		10115	Mitte
MP 13		12359	Neukölln
MP 14		13595	Spandau
MP 15		10719	Charlottenburg-Wilmersdorf
MP 16		13357	Mitte
MP 17		12099	Tempelhof-Schöneberg
MP 18		12101	Tempelhof-Schöneberg
MP 19		12043	Neukölln
MP 20		12043	Neukölln
MP 21		12053	Neukölln
MP 22		10555	Mitte
MP 23		12347	Neukölln
MP 24		12555	Treptow-Köpenick
MP 25		12526	Treptow-Köpenick

Tab. 6: Anschriften der 25 Messorte

Die 25 Messorte verteilen sich also wie folgt auf die Bezirke von Berlin:

Bezirk	Zahl der Messorte
Spandau	3
Reinickendorf	2
Pankow	3
Marzahn-Hellersdorf	4
Treptow-Köpenick	2
Mitte	3
Neukölln	5
Charlottenburg-Wilmersdorf	1
Tempelhof-Schöneberg	2

Tab. 7: Verteilung auf die Bezirke von Berlin

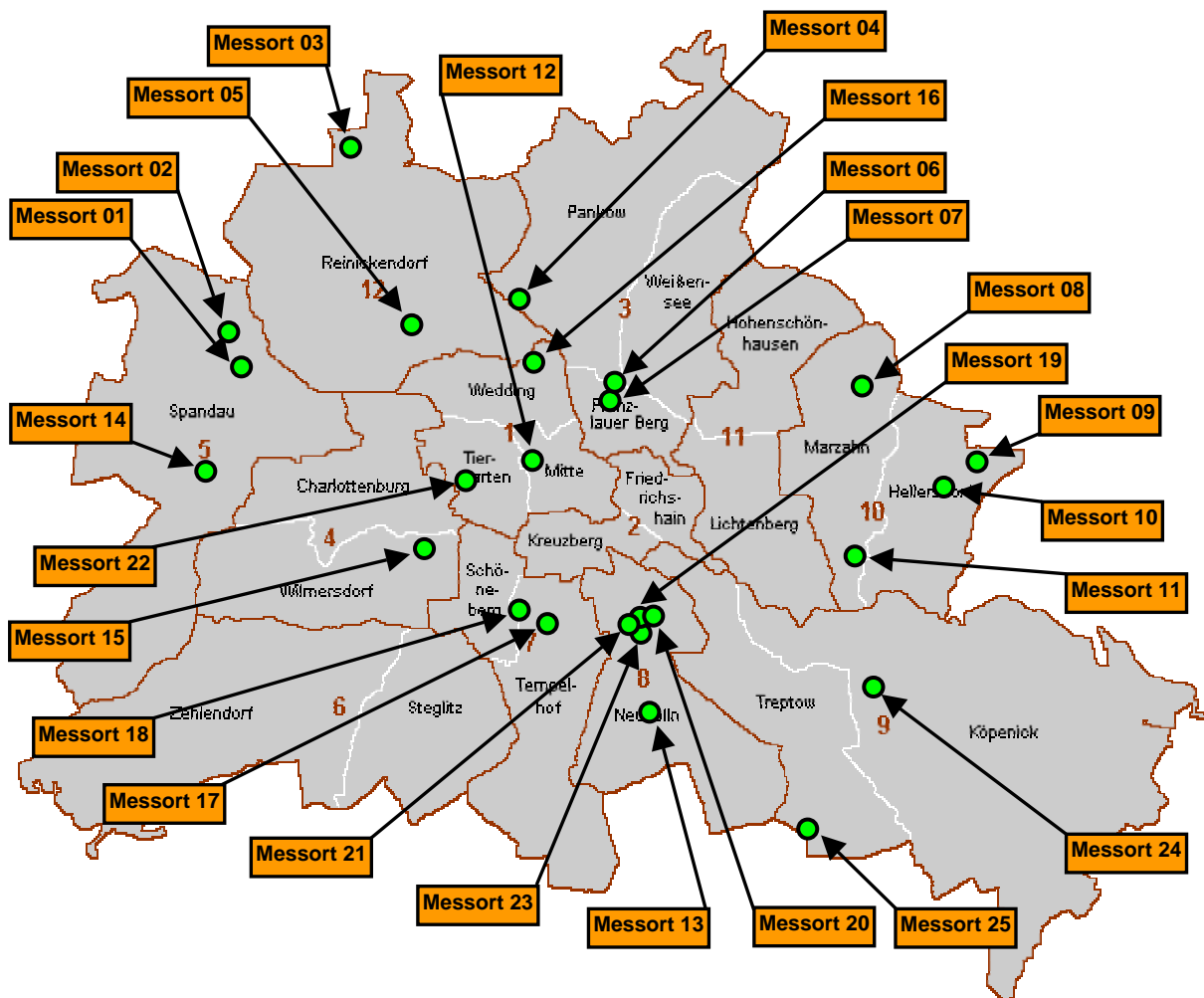


Abb. 1: Verteilung der Messorte im Stadtgebiet von Berlin

Unmittelbar vor Durchführung der Messungen wurden umfangreiche Ortsbegehungen vorgenommen, um die räumlichen Gegebenheiten näher kennen zu lernen und so ein genaueres Bild über die Lage der vorgesehenen Messpunkte zu erhalten, beziehungsweise Alternativmesspunkte festzulegen.

Zusätzlich zu den Immissionen wurden an jedem Messpunkt (wenn möglich) Entfernung und Horizontalwinkel zu den in unmittelbarer Nähe befindlichen Mobilfunkanlagen bestimmt. Auch der vertikale Winkel unter dem der Messpunkt bezüglich der Mobilfunkantennen erscheint, wurde (wenn möglich) gemessen.

In Tabelle 8 sind die wesentlichen Eigenschaften der Messpunkte im Überblick dargestellt. Eine ausführliche, zusammenfassende Auflistung der Messpunktdaten findet sich in der Anlage 6.1 zu diesem Bericht.

Anzahl der Messorte	25 Messorte
Anzahl der untersuchten Messpunkte	55 Messpunkte
Nutzung der Messpunkte	Wohnen/Arbeiten (23 Messpunkte), Balkon/Dachterrasse/ Teppenhause/Flur (15 Messpunkte), Garten/Terrasse (3 Messpunkte), Schule/Kindergarten (14 Messpunkte)
Sichtverbindung zu Mobilfunkantennen	46 Messpunkte mit Sichtverbindung 9 Messpunkte ohne bzw. mit eingeschränkter Sichtverbindung
Lage der Messpunkte	Indoor: 33 Punkte Outdoor: 22 Punkte
Horizontale Entfernung zum nächsten Mobilfunkstandort	Minimal: 5 Meter Maximal: 150 Meter Durchschnittlich: 53,1 Meter
Vertikalwinkel, unter dem der Messpunkt vom Antennenstandort aus gesehen erscheint	Minimal: -2° Maximal: -41° Durchschnittlich: -16,8°
Zahl der für die Immission am Messpunkt relevanten Mobilfunksysteme*	Minimal: 1 System Maximal: 8 Systeme Durchschnittlich: 3,0 Systeme
Messpunkte für die Langzeitmessungen	Messpunkt 13a (frequenzselektiv)

über sieben Tage	Messpunkt 25a (breitbandig)
Messpunkte für die Langzeitmessungen über 24 Stunden	Messpunkt 01a (frequenzselektiv) Messpunkt 02a (frequenzselektiv) Messpunkt 07b (breitbandig) Messpunkt 09b (breitbandig) Messpunkt 23a (breitbandig)

*: Unter einem "System" versteht man eine GSM900- oder eine GSM1800- bzw. eine UMTS-Anlage jeweils eines Betreibers. Die minimale Systemzahl (ein System) ergibt sich also, wenn der für die Immission am Messpunkt relevante Standort mit nur einer GSM900- oder einer GSM1800- oder einer UMTS-Anlage eines Betreibers bestückt ist. Die maximal denkbare Bestückung eines Standortes wäre also $2 \times \text{GSM900} + 4 \times \text{GSM1800} + 4 \times \text{UMTS}$, also 10 Systeme. Allerdings wurde im Rahmen dieses Messprojektes kein derartig bestückter Standort angetroffen.

Tab. 8: Charakterisierung der Messpunkte

Die eigentlichen Messungen wurden größtenteils im März 2004 durchgeführt. Aufgrund der Tatsache, dass relevante Mobilfunksendeanlagen bei manchen Messpunkten im März nicht in Betrieb waren, wurden einige Nachmessungen in den Monaten April und Juni 2004 notwendig. Die Langzeiterfassungen fanden im April 2004 statt. Der genaue Messzeitpunkt für die einzelnen Messpunkte ist im jeweiligen Einzelbericht dokumentiert.

4. Zusammenfassende Darstellung der Messergebnisse

4.1 Mobilfunk

4.1.1 Summenimmission Mobilfunk (GSM+UMTS)

In Tabelle 9 sind einige wesentliche Resultate der Messungen von Mobilfunkimmissionen zusammenfassend dargestellt (Immissionen bei Maximalausbau nach RegTP). Eine ausführliche Auflistung aller Mobilfunk-Messergebnisse findet sich in der Anlage 6.2 zu diesem Bericht.

Absolut größter Immissionswert	15,57 % vom Grenzwert am Messpunkt 25b
Absolut kleinster Immissionswert	0,30 % vom Grenzwert am Messpunkt 23b
Spannweite zwischen kleinster und größter Immission	Ca. 34 dB (Faktor 52)
Größter Immissionswert bei fehlender bzw. eingeschränkter Sichtverbindung zu den Antennen (9 Messpunkte)	2,80 % vom Grenzwert am Messpunkt 22b
Im Mittel vorhandene Immission	4,78 % vom Grenzwert
Im Mittel vorhandene Immission an Punkten mit Sichtverbindung zu den Antennen	5,16 % vom Grenzwert
Im Mittel vorhandene Immission bei fehlender bzw. eingeschränkter Sichtverbindung zu den Antennen (9 Messpunkte)	1,96 % vom Grenzwert

Tab. 9: Überblick über wesentliche Resultate der Mobilfunkmessungen (Angaben in Prozent vom Grenzwert für die elektrische Feldstärke bei Maximalausbau).

Die grundsätzliche Größenverteilung der Messergebnisse ist in folgender Abbildung dargestellt:

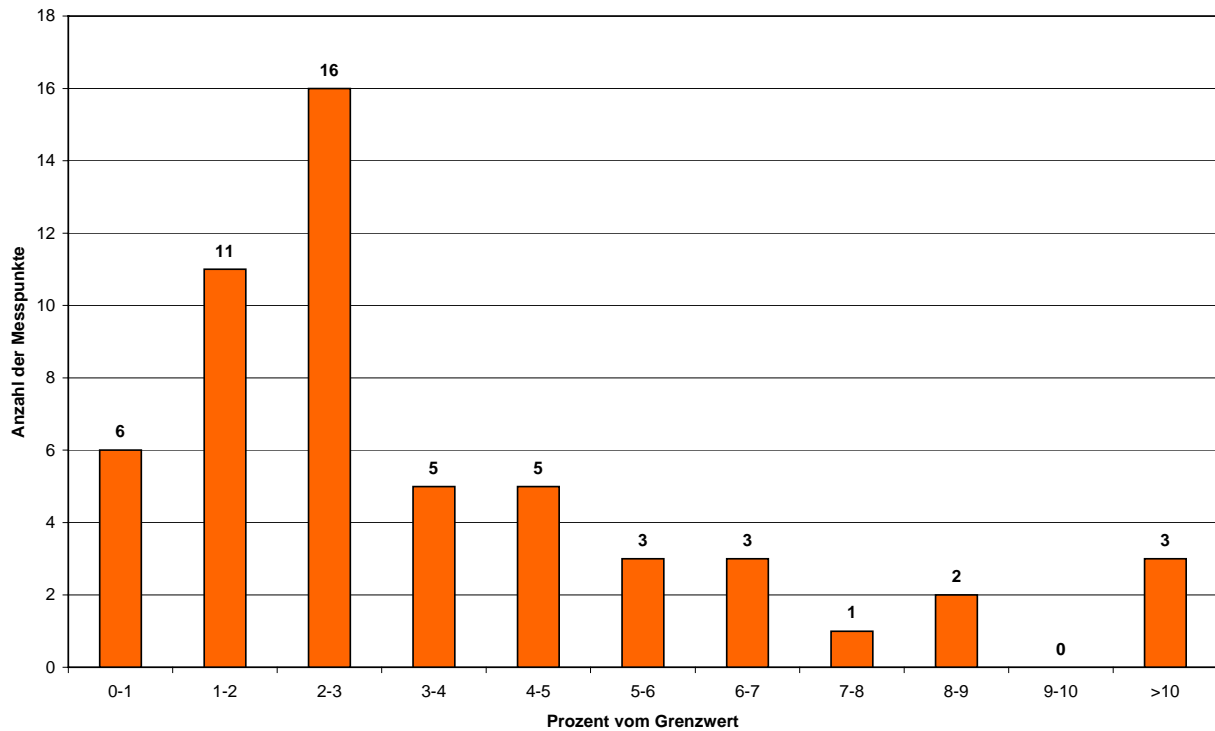


Abb. 2: Verteilung der Messergebnisse (in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV)

An 60 Prozent der Messpunkte wurde eine Mobilfunk-Summenimmission von maximal 3 Prozent vom Grenzwert gefunden. Die restlichen 40 Prozent der Messpunkte liefern Werte über 3 bis 15,6 Prozent vom Grenzwert. Immissionen über 10 Prozent vom Grenzwert treten offensichtlich nur in sehr seltenen Einzelfällen auf.

4.1.2 Abhängigkeit der Immission von Sichtverbindung und Entfernung

In diesem Kapitel soll näher diskutiert werden, welchen Einfluss die Sichtverbindung sowie die Entfernung vom Messpunkt zum Antennenstandort auf die Größe des Immissionswertes ausübt. Zunächst ist im folgenden die Immissionsverteilung in Abhängigkeit von der Sichtverbindung zu den Antennen dargestellt:

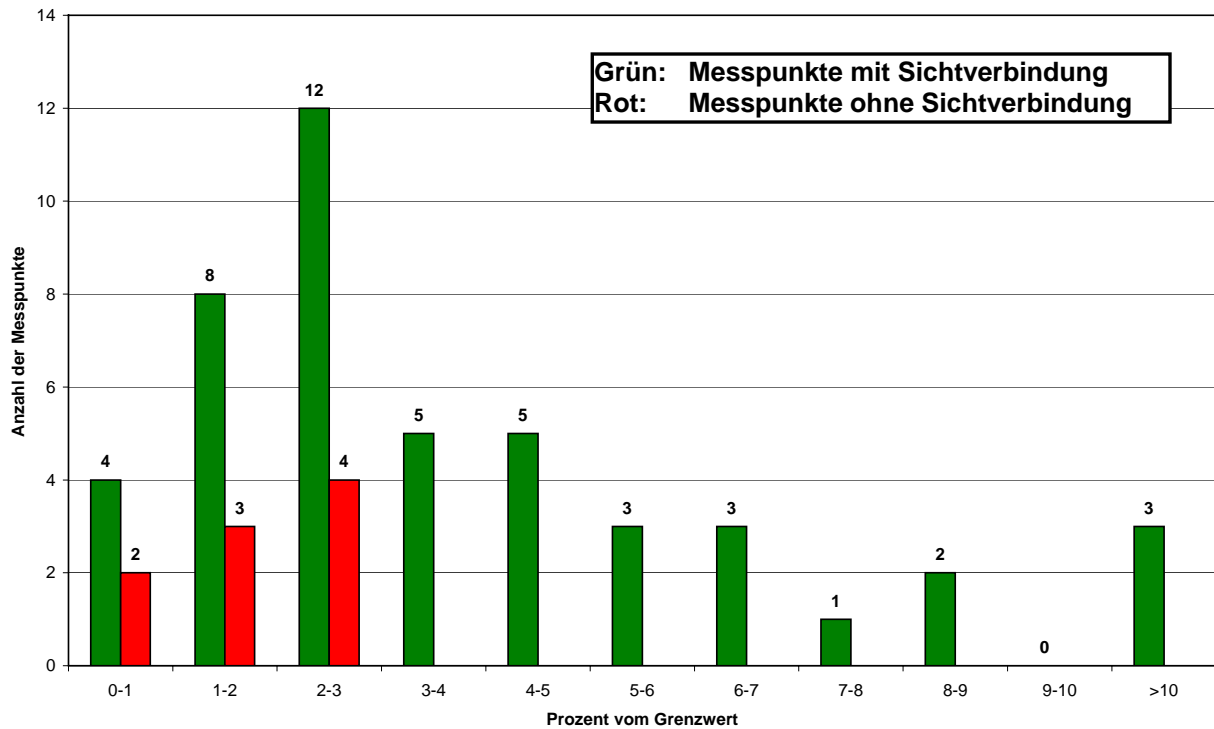


Abb. 3: Verteilung der Messergebnisse abhängig von der Sichtverbindung zur Antenne

Offensichtlich treten bei Fehlen bzw. Beeinträchtigung der direkten Sicht zu den Antennen regelmäßig geringere Immissionswerte auf. Bei den hier untersuchten Messpunkten ergab sich bei Sichtverbindung eine durchschnittliche Immission von 5,16 Prozent vom Grenzwert. Fehlte die Sichtverbindung, reduziert sich die durchschnittliche Immission um zirka den Faktor 2,6 (d.h. 8,4 dB) auf 1,96 Prozent vom Grenzwert. Der größte Messwert bei fehlender Sichtverbindung zu den Antennen betrug 2,8 Prozent vom Grenzwert.

Anzumerken ist an dieser Stelle allerdings, dass nur an neun Punkten ohne bzw. mit eingeschränkter Sicht zu den Antennen Messungen durchgeführt wurden, so dass die Datenbasis für den Vergleich sehr gering ausfällt.

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Größe der am Messpunkt entstehenden Immission könnte die Entfernung zur Mobilfunkanlage sein. Für die folgende Auswertung wurde immer der horizontale Abstand zum nächstgelegenen Antennenträger als Entfernungsmaß verwendet. In Abbildung 4 sind die Messergebnisse mit dem zugehörigen Entfernungswert dargestellt:

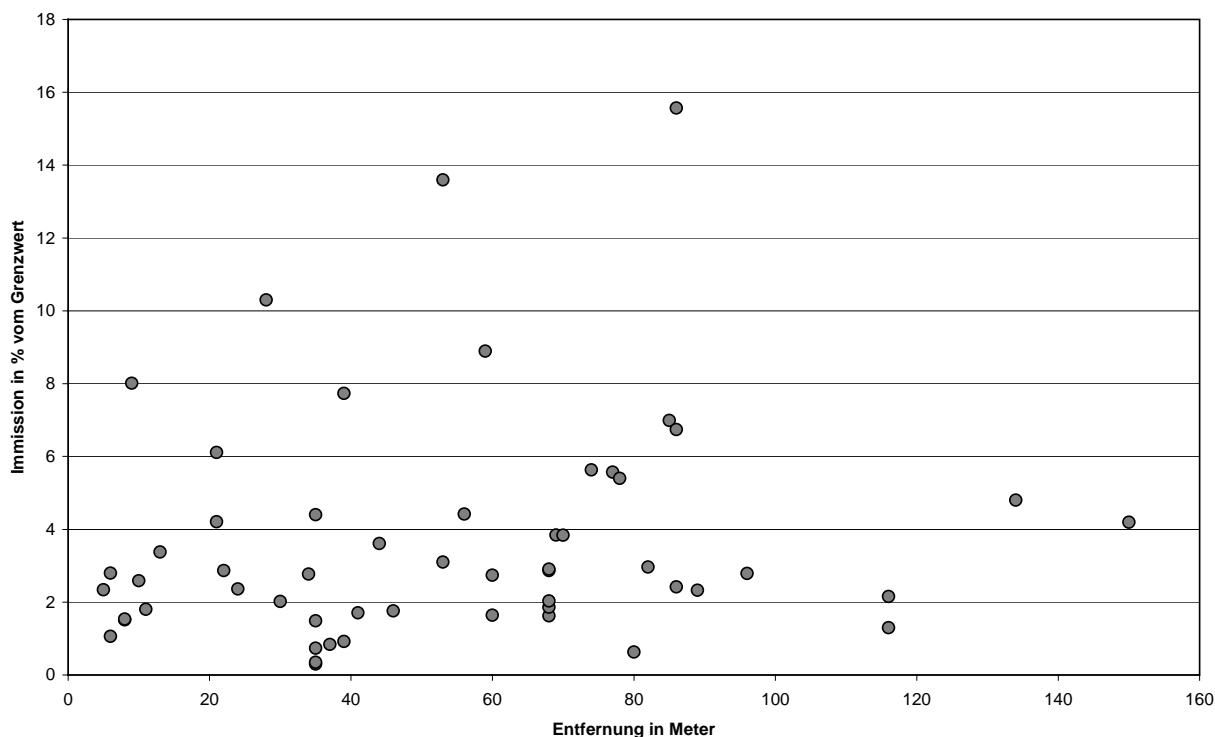


Abb. 4: Immission in Abhängigkeit von der Entfernung zum Antennenstandort

Abbildung 4 lässt offensichtlich keine eindeutige Gesetzmäßigkeit bezüglich einer Entfernungsabhängigkeit der Immission erkennen, in allen Entfernungen sind offensichtlich sowohl größere als auch geringere Immissionswerte möglich. Noch deutlicher wird dieses Ergebnis, wenn man Entfernungsklassen bildet. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Entfernungsabhängigkeit der Immission bei Bildung von sechs Entfernungsklassen:

Entfernungsbereich	Zahl der Messpunkte	Mittlere Immission in Prozent vom Grenzwert
$x < 20$ Meter	9	3,41 %
$20 \leq x < 40$ Meter	15	4,25 %
$40 \leq x < 60$ Meter	7	6,68 %
$60 \leq x < 80$ Meter	12	3,63 %
$80 \leq x < 100$ Meter	8	6,75 %
$x \geq 100$ Meter	4	3,43 %

Tab. 10: Immission in Abhängigkeit von der Entfernung zu den Antennen

Offensichtlich sind höhere Immissionen typischerweise auch in größeren Abständen zu den Antennen zu erwarten (siehe blaue Säulen in Abbildung 5). Dies lässt sich folgendermaßen begründen:

- Die Messpunkte ohne Sichtverbindung zur Antenne (d.h. mit niedriger Immission) befanden sich größtenteils im Nahbereich in Entfernungen bis maximal 40 Meter (Teilweise befanden sie sich innerhalb des Gebäudes, auf dessen Dach die Mobilfunkantennen montiert sind).
- Im Nahbereich wirkt sich die vertikale Winkeldämpfung der Antennen in vielen Fällen deutlich immissionsvermindernd aus ("Nahbereichsschatten").
- In größerer Entfernung ergibt sich häufiger die Situation, dass sich ein Messpunkt näher an der vertikalen Hauptsenderichtung einer Antenne befindet.

Betrachtet man nur die 46 Punkte mit direkter Sichtverbindung zu den Antennen, so ergibt sich ein nahezu unverändertes Bild:

Entfernungsbereich	Zahl der Messpunkte mit Sicht zu den Antennen	Mittlere Immission in Prozent vom Grenzwert
$x < 20$ Meter	4	4,60 %
$20 \leq x < 40$ Meter	13	4,49 %
$40 \leq x < 60$ Meter	7	6,68 %
$60 \leq x < 80$ Meter	12	3,63 %
$80 \leq x < 100$ Meter	6	7,73 %
$x \geq 100$ Meter	4	3,43 %

Tab. 11: Immission in Abhängigkeit von der Entfernung zu den Antennen bei Sichtverbindung

Folgende Abbildung stellt die Ergebnisse aus Tabelle 10 und 11 graphisch dar:

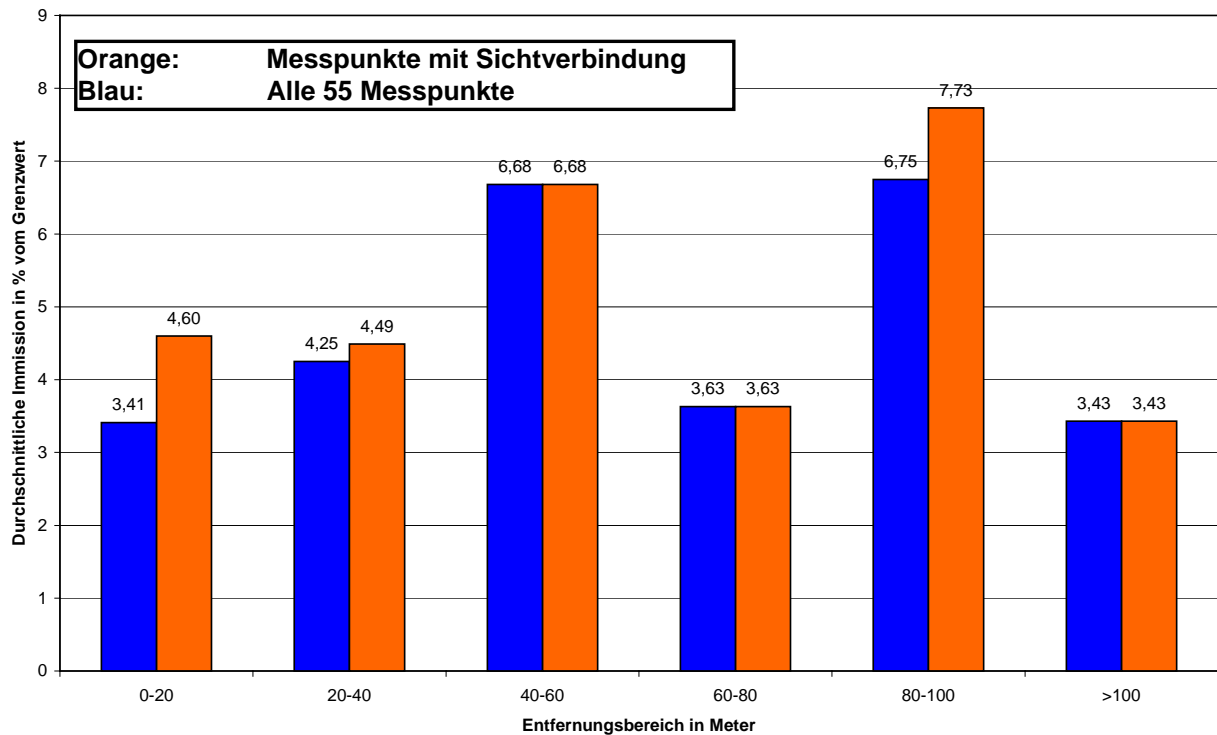


Abb. 5: Durchschnittliche Immissionen in Abhängigkeit vom Abstand zur Antenne

Die Entfernungsbetrachtung liefert zusammenfassend folgende Erkenntnisse:

- Die größten Immissionen treten regelmäßig an den Punkten auf, die sich im vertikalen Hauptstrahl der Antennen befinden. Derartige Punkte können durchaus 50 bis 100 Meter vom Anlagenstandort entfernt sein.
- Im Nahbereich (hier: etwa 0 bis 40 Meter) finden sich nur in bestimmten Ausnahmefällen (z.B. bei Antennen mit geringer vertikaler Bündelung, starker vertikaler Strahlabsenkung oder ausgeprägten Nebenkeulen) überdurchschnittliche Immissionen.
- Im hier betrachteten Entfernungsbereich ist also der Horizontalabstand zur Antenne keine geeignete Größe zur Quantifizierung der am Messpunkt entstehenden Immission.

4.1.3 Abhängigkeit der Immission von der Zahl der installierten Systeme

Häufig wird in der Öffentlichkeit die Zahl der an einem Standort installierten Mobilfunksysteme als Kriterium zur Einschätzung der in der Umgebung auftretenden Immission herangezogen. Das heißt, bei einem Standort mit besonders vielen Antennen wird davon ausgegangen, dass in der Umgebung auch sehr hohe Immissionswerte auftreten.

Um nachzuprüfen, ob dieser vereinfachte Beurteilungsansatz in der Praxis auch zu richtigen Einschätzungen führt, wurden die im Rahmen des Messprojektes gefundenen Immissionswerte der Zahl der jeweils an den verursachenden (bzw. in unmittelbarer Nähe installierten) Standorten in Betrieb befindlichen Mobilfunksystemen gegenübergestellt.

Unter einem "System" versteht man eine GSM900- oder eine GSM1800- bzw. eine UMTS-Anlage jeweils eines Betreibers. Die minimale Systemzahl (ein System) ergibt sich also, wenn der für die Immission am Messpunkt relevante Standort mit nur einer GSM900- oder einer GSM1800- oder einer UMTS-Anlage eines Betreibers bestückt ist. Die maximal denkbare Bestückung eines Standortes wäre also 2 x GSM900 + 4 x GSM1800 + 4 x UMTS, also zehn Systeme.

In der Umgebung der 55 Messpunkte waren zum Zeitpunkt der Messungen folgende Systeme in Betrieb:

Messpunk Nr.	Zahl der Systeme (aufgeschlüsselt) (GSM900 + GSM1800 + UMTS)	Zahl der Systeme gesamt
1a/b	1+1+1	3
2a/b	0+2+1	3
3a/b	2+0+1	3
4a-e	0+1+1	2
5a/b	1+0+1	2
6a/b	1+2+1	4
7a/b	1+0+1	2
8a/b	2+1+2	5
9a/b	1+0+0	1
10a/b	2+1+3	6
11a/b	2+1+3	6
12a/b	1+3+2	6
13a/b	1+0+0	1
14a/b	0+0+1	1
15a	0+0+1	1
15b	1+1+1	3
16a/b	1+1+1	3

17a/b	2+0+1	3
18a/b	1+2+1	4
19a/b	0+0+1	1
20a/b	1+0+0	1
21a/b	1+2+1	4
22a	0+0+1	1
22b	1+0+2	3
23a-d	0+1+0	1
24a/b	2+2+4	8
25a/b	2+0+3	5

Tab. 12: In der Umgebung der Messpunkte vorhandene Anzahl an Mobilfunksystemen

Folgende Abbildung gibt die an den einzelnen Messpunkten gefundene Immission (Maximalausbau) in Abhängigkeit von der Zahl der Systeme wieder:

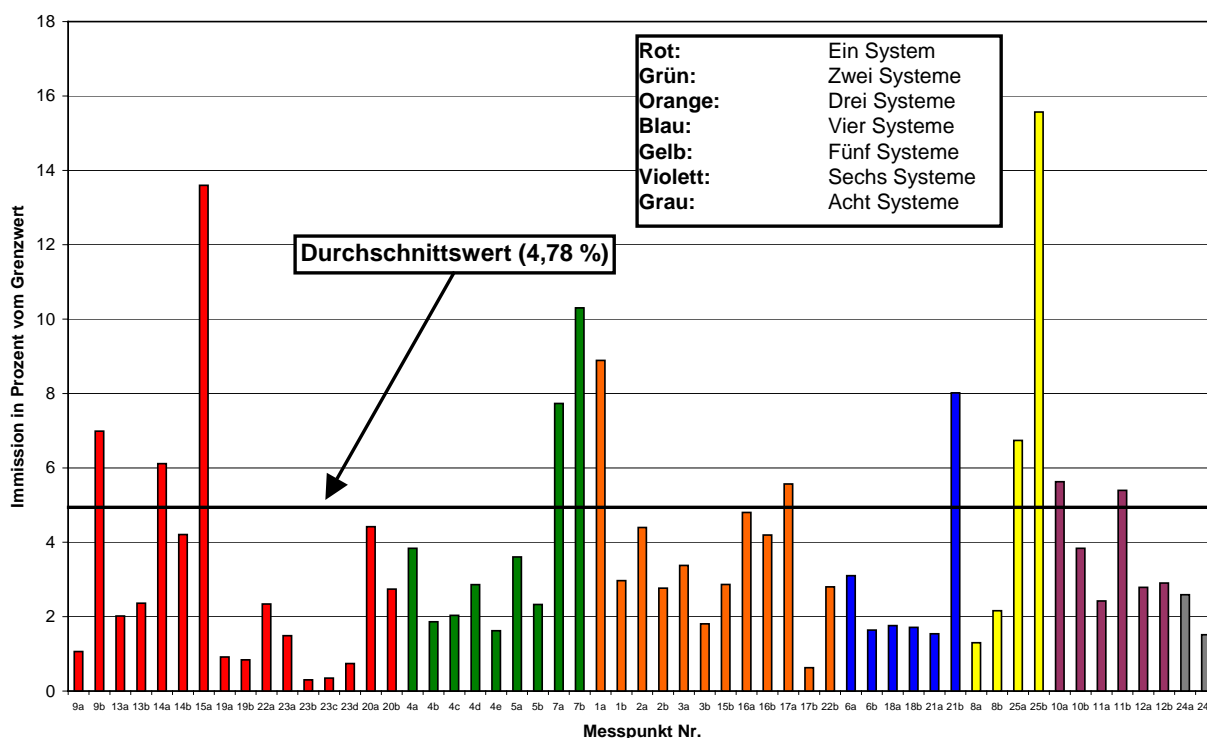


Abb. 6: Immissionen im Vergleich zur Ausstattung des verursachenden Standortes

Aus Abbildung 6 zeigt sich deutlich, dass die Zahl der installierten Systeme kein zuverlässiges Kriterium zur Abschätzung der in der Umgebung entstehenden Immission darstellt. Es ist kein Trend in die Richtung erkennbar, dass bei Messpunkten mit mehr Funkanlagen im Umfeld auch höhere Immissionswerte festgestellt werden können. Sowohl an den Messpunkten mit nur einem System als auch an den Punkten mit mehr Systemen in der Umgebung findet man gleichermaßen geringe als auch größere Werte.

Offensichtlich haben andere Parameter einen deutlich größeren Einfluss auf die Größe der entstehenden Immission, als die Zahl der installierten Systeme.

4.1.4 Abhängigkeit der Immission vom Vertikalwinkel

Der Einfluss des Vertikalwinkels auf die Größe der Immission ist in folgender Tabelle wiedergegeben. Insgesamt konnten für diese Auswertung 46 der 55 Messpunkte herangezogen werden. An den restlichen 9 Punkten konnte kein Vertikalwinkel ermittelt werden, weil keine Sichtverbindung vom Messpunkt zum Antennenstandort bestand.

Winkelbereich (nach unten positiv gezählt)	Zahl der Messpunkte	Mittlere Immission in Prozent vom Grenzwert	Mittlere Entfernung zum Anlagenstandort
$\alpha < 10^\circ$	9	8,65 %	82,7 m
$10^\circ \leq \alpha < 20^\circ$	18	4,33 %	74,1 m
$20^\circ \leq \alpha < 30^\circ$	13	3,13 %	36,6 m
$\alpha \geq 30^\circ$	6	3,83 %	30,2 m

Tab. 13: Immission in Abhängigkeit vom Vertikalwinkel zwischen Messpunkt und Antenne

Die rechte Spalte in Tabelle 13 zeigt auch sehr deutlich, dass sich die Messpunkte mit steilem Vertikalwinkel im Durchschnitt näher am Antennenstandort befanden, als die Punkte mit flachem Vertikalwinkel.

Folgende Abbildung stellt die Ergebnisse aus Tabelle 13 graphisch dar.

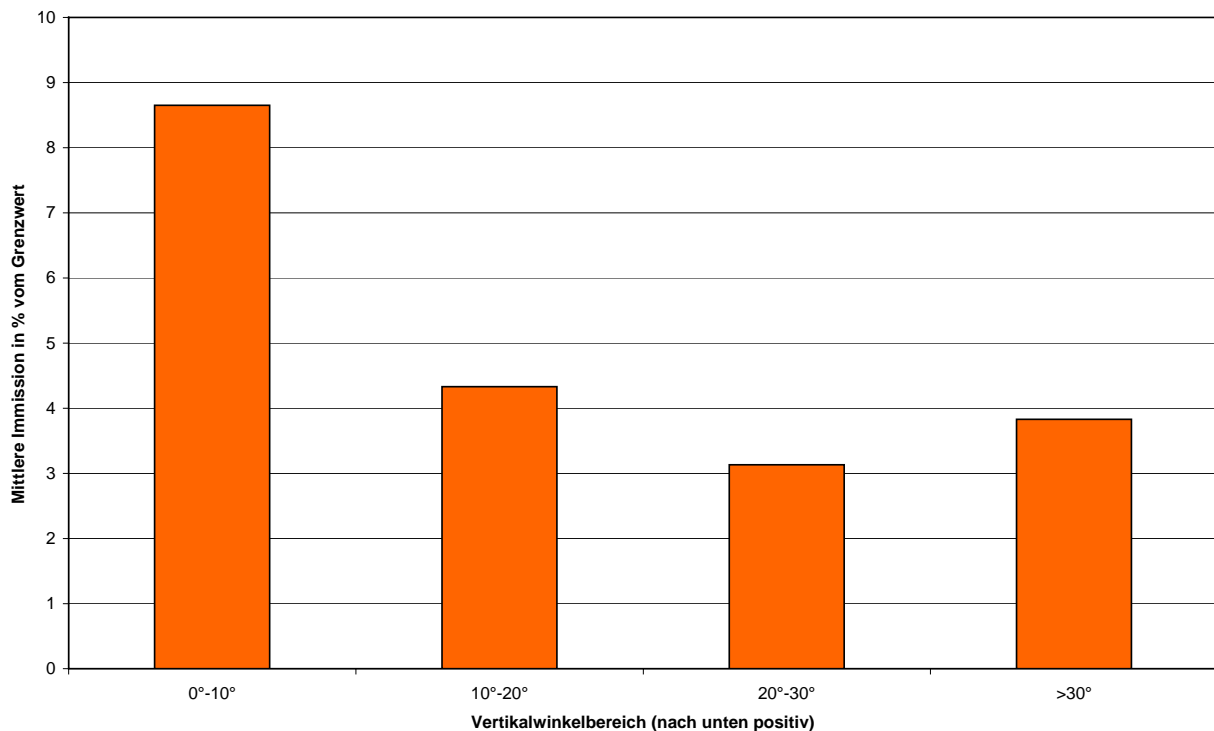


Abb. 7: Durchschnittliche Immissionen in Abhängigkeit vom Vertikalwinkel zwischen Messpunkt und Antenne

Es ist eine deutliche Tendenz zu abnehmender Immission bei steilen Vertikalwinkeln festzustellen. Bei Winkeln größer 20° ergibt sich eine mittlere Immission, die etwa um den Faktor 2,6 geringer ist, als im Bereich flacher Winkel (bis 10°). Der Faktor 2,6 entspricht einer durchschnittlichen Schwächung von etwa 8,3 dB.

Bei sehr steilen Vertikalwinkeln (>30°) ergibt sich allerdings der Effekt, dass der Messpunkt dann häufig eine sehr geringe Horizontalentfernung zu den Mobilfunkantennen besitzt. Daher wird der Trend zu immer geringerer mittlerer Immission bei sehr steilem Vertikalwinkel nicht weiter fortgesetzt. Die mittlere Entfernung dieser Punkte betrug etwa 30 Meter, während die Messpunkte mit Vertikalwinkeln kleiner 10° hingegen durchschnittlich etwa 83 Meter vom Messpunkt entfernt waren (siehe rechte Spalte in Tabelle 13).

4.1.5 Immissionsvergleich: Indoor - Outdoor

An den meisten Messorten wurde ein Messpunkt im Außenbereich festgelegt (z.B. der Garten einer Kindertagesstätte), während sich der zweite Messpunkt üblicherweise im Gebäudeinneren befand (z.B. Gruppenraum einer Kindertagesstätte). Folgende Tabelle stellt die durchschnittlich gefundene Immission an den 22 Indoor-Messpunkten den der 33 Outdoor-Messpunkte sowie dem Mittelwert über alle Messpunkte vergleichend gegenüber:

Messpunkte	Zahl der Messpunkte	Mittlere Immission in Prozent vom Grenzwert
Indoor	22	4,08 %
Outdoor	33	5,67 %
Alle	55	4,78 %

Tab. 13: Immission in Abhängigkeit von der Lage des Messpunktes (Indoor oder Outdoor)

Im Mittel ergibt sich also im Gebäude eine um den Faktor 1,4 geringere Immission als im Freien. Dies entspricht einer Dämpfung von etwa 2,9 dB. Ein Grund für die im Durchschnitt etwas geringeren Immissionen sind sicherlich die häufig etwas schlechteren Sichtverbindungen zu den Mobilfunkantennen bei Messungen im Gebäude, da nicht immer von den Fenstern aus eine optimale Sicht zu den Anlagenstandorten herrscht.

4.1.6 Spannweite der Immission

Alle bisher dargestellten Immissionswerte bezogen auf sich auf Volllast bei Maximalausbau der Anlagen gemäß RegTP-Standortbescheinigung. Wie in Kapitel 2.2 bereits erläutert, ist der Maximalausbau bei den einzelnen Stationen im Regelfall noch nicht realisiert. Außerdem schwanken die Immissionen mit dem aktuellen Verkehrsaufkommen. In folgender Tabelle wird deshalb (zusätzlich zum Maximalausbau) dargestellt, wie viel Immission im Mittel nach derzeitigem Ausbauzustand an den Messpunkten erzeugt werden kann und wie groß die Immission im Mittel zu Zeiten ist, an denen gar kein Verkehr abgewickelt wird, also nur die Signalisierungssignale der Stationen abgestrahlt werden.

Die individuelle Spannweite der Immissionen für jeden der 55 Messpunkte kann aus den detaillierten Einzeldokumentationen entnommen werden.

Zustand	Mittlere Immission in Prozent vom Grenzwert	Relativ zum Maximalausbau
Maximalausbau und Volllast (Maximale Immission)	4,78 %	100 %
Aktueller Ausbau und Volllast (Aktuelle Immission)	3,43 %	71,8 %
Aktueller Ausbau, kein Verkehrsaufkommen (Minimale Immission, verursacht durch die Signalisierungssignale)	1,68 %	35,1 %

Tab. 14: Schwankungsbreite der Immission

Tabelle 14 liefert folgende Erkenntnisse:

- Gegenüber dem Zustand ohne Telefon- bzw. Datenverkehr (dieser Zustand tritt bei jedem Standort auf, z.B. auch nachts), kann sich die feldstärkebezogene Immission bei Volllast des aktuellen Ausbauszustandes im Mittel etwa verdoppeln. Die Schwankungsbreite der Immission beträgt also zirka 6 dB.
- Bei Maximalausbau der Anlagen ergibt sich eine durchschnittliche Erhöhung gegenüber der Minimalimmission um etwa den Faktor 2,8 bzw. 9 dB.
- Die derzeit noch nicht realisierten, aber bereits von der RegTP genehmigten Kapazitätserweiterungen führen also, im Vergleich zum aktuellen Ausbauszustand, im Mittel zu einer Immissionszunahme von etwa 3 dB. Anders ausgedrückt: Die Mobilfunkanlagen werden aktuell im Durchschnitt mit etwa 50 Prozent der von der RegTP genehmigten Leistung betrieben.

4.1.7 Immissionsvergleich GSM - UMTS

Im Rahmen des Messprojektes sollte auch der Frage nachgegangen werden, wie sich die Immissionen von GSM- bzw. UMTS-Sendern in der Größenordnung zu einander verhalten. Für 34 Messpunkte konnte dieser Vergleich sinnvoll durchgeführt werden, an den anderen 21 Punkten ist ein Vergleich nicht möglich, da in deren Umgebung entweder nur GSM oder nur UMTS-Sendeanlagen installiert waren oder eine der beiden Systeme durch Gebäude so stark abgeschattet wurde, dass ein Einbeziehen dieser Punkte in den Vergleich zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen würde. Diese relativ geringe Messpunktezahl sollte im Auge behalten werden, wenn es darum geht, allgemeingültige Schlüsse aus dem Vergleich GSM - UMTS zu ziehen. Die Ergebnisse des Vergleichs sind in Tabelle 15 zahlenmäßig angegeben.

Messpunkt Nr.	Minimal			Aktuell			Maximal		
	GSM	UMTS	Summe	GSM	UMTS	Summe	GSM	UMTS	Summe
1a	1,68	1,83	2,49	3,25	5,80	6,65	3,36	8,23	8,89
1b	0,91	0,34	0,97	1,58	1,08	1,91	1,81	2,35	2,97
2a	1,15	0,48	1,25	1,68	1,53	2,27	2,30	3,75	4,40
2b	0,64	0,32	0,72	0,91	1,00	1,35	1,29	2,45	2,77
4a	1,44	0,33	1,48	1,46	1,04	1,79	2,89	2,54	3,84
4b	0,43	0,21	0,48	0,44	0,67	0,80	0,86	1,65	1,86
4c	0,46	0,23	0,51	0,47	0,74	0,88	0,91	1,82	2,03
4d	0,48	0,35	0,59	0,49	1,10	1,21	0,96	2,70	2,87
4e	0,45	0,17	0,48	0,47	0,55	0,72	0,90	1,35	1,62
5a	0,89	0,70	1,13	1,57	2,22	2,72	1,78	3,14	3,61
5b	0,56	0,46	0,72	0,98	1,44	1,74	1,12	2,04	2,33
6a	1,51	0,19	1,52	2,60	0,61	2,67	2,98	0,86	3,10
6b	0,77	0,17	0,79	1,29	0,53	1,39	1,46	0,74	1,64
7a	3,50	1,07	3,66	4,97	3,39	6,02	6,07	4,79	7,73
7b	1,74	2,20	2,81	2,52	6,96	7,40	3,01	9,84	10,30
8a	0,51	0,20	0,55	0,86	0,63	1,07	0,95	0,89	1,30
8b	0,67	0,39	0,77	1,16	1,23	1,69	1,28	1,73	2,16
10a	1,40	0,72	1,58	1,98	2,28	3,02	2,74	4,92	5,63
10b	0,96	0,55	1,11	1,36	1,75	2,22	1,88	3,35	3,84
11a	0,62	0,44	0,76	0,87	1,40	1,65	1,24	2,08	2,42
11b	1,48	0,97	1,77	2,06	3,08	3,71	2,95	4,52	5,40
12a	0,74	0,53	0,90	1,18	1,66	2,04	1,50	2,35	2,79
12b	0,67	0,58	0,88	0,99	1,83	2,08	1,32	2,59	2,91
15b	0,6	0,59	0,84	0,97	1,86	2,10	1,14	2,64	2,87
16a	1,90	0,38	1,94	3,27	1,20	3,48	3,79	2,95	4,80
16b	2,06	0,11	2,06	3,54	0,35	3,56	4,11	0,86	4,20
17a	2,47	0,58	2,53	4,92	1,83	5,25	4,93	2,59	5,57
17b	0,27	0,07	0,28	0,54	0,23	0,58	0,54	0,32	0,63
18a	0,68	0,29	0,74	1,09	0,91	1,42	1,20	1,29	1,76
18b	0,77	0,20	0,79	1,31	0,63	1,45	1,45	0,89	1,71
24a	0,56	0,42	0,70	0,87	1,32	1,59	1,09	2,34	2,59
24b	0,51	0,21	0,55	0,72	0,66	0,98	1,01	1,13	1,52
25a	2,85	0,70	2,93	4,10	2,22	4,67	5,69	3,61	6,74
25b	5,05	2,56	5,66	7,51	8,09	11,03	10,11	11,85	15,57
Mittelwerte:	1,58	0,80	1,77	2,45	2,54	3,53	3,07	3,88	4,95
UMTS/GSM:			0,51			1,04			1,27

Tab. 15: Immissionsvergleich GSM-UMTS (34 Punkte). Alle Angaben in Prozent vom Feldstärkegrenzwert.

Folgende Erkenntnisse können aus dieser Tabelle abgelesen werden:

- Vergleicht man die Immissionen von GSM und UMTS bei minimaler Anlagenemission, so überwiegt die Immission durch GSM deutlich (bezüglich der Feldstärke etwa um den Faktor 2, d.h. 6 dB). Zurückzuführen ist dies auf die Tatsache, dass das Signalisierungssignal einer UMTS-Station mit deutlich geringerer Leistung ausgesendet wird, als das von einer GSM-Anlage.
- Die Immissionen bei aktuellem Ausbauzustand halten sich im Mittel in etwa die Waage.
- Bei Maximalausbau ergeben sich im Mittel um etwa 27 Prozent höhere Immissionen durch UMTS als durch GSM (dies entspricht einem Unterschied von etwa 2 dB), wobei es sowohl Punkte gibt, an denen GSM überwiegt, als auch Orte an denen UMTS

dominiert. Eine nähere Analyse der örtlichen Gegebenheiten an den Messpunkten ergab, dass die Immissionsunterschiede zwischen GSM und UMTS häufig begründet werden können. Beispielsweise können abhängig von der Lage des Messpunktes zu den GSM- bzw. UMTS-Antennen folgende Faktoren für die Immissionsunterscheide verantwortlich sein:

- GSM und UMTS werden über Antennen ausgesendet, die unterschiedlich hoch montiert sind, wobei in der Regel die UMTS-Antennen niedriger montiert sind als die GSM-Antennen.
- UMTS-Antennen besitzen häufig eine größere vertikale Absenkung der Hauptsenderichtung ("Downtilt") als GSM-Antennen, so dass im Nahbereich etwas höhere Immissionen bei UMTS-Anlagen entstehen können.
- Die GSM- bzw. UMTS-Antennen werden mit unterschiedlichen Leistungen gespeist.
- Die horizontalen Hauptsenderichtungen sind bei GSM und UMTS nicht bei allen Standorten gleich, so dass es am Messpunkt zu unterschiedlich starken Immissionen kommt.
- Der Messpunkt befindet sich nicht in der horizontalen Hauptsenderichtung der Antennen, sondern am Rand der Keule, so dass bereits geringfügige Winkeländerungen zu stark unterschiedlichen Immissionen führen können.
- Aufgrund unterschiedlicher Antennentypen bei GSM und UMTS ergeben sich differierende vertikale und horizontale Keulenbreiten.
- GSM900-Antennen haben in der Regel einen um 3 dB geringeren Antennengewinn als die UMTS-Antennen.
- Teile der Antennenanlagen wurden durch Bewuchs oder Bebauung verdeckt, so dass die Immissionsunterschiede durch Abschattungen erklärbar sind.

Mit dem hier durchgeführten Vergleich an 34 Punkten kann die Frage, welche der beiden Funkssysteme (GSM- oder UMTS) im Mittel die geringeren Immissionen erzeugt, nicht abschließend beantwortet werden, da die Datenbasis dafür zu gering ist. Außerdem ist der UMTS-Ausbau in Berlin derzeit noch nicht abgeschlossen, so dass sich die Immissionslage in Zukunft noch verändern könnte.

Fest steht auf jeden Fall, dass die Minimalimmission bei UMTS-Anlagen geringer ausfällt als bei GSM-Sendern, auch scheint es derzeit, wenn überhaupt, zumindest keinen sehr deutlichen Unterschied in der Größenordnung der beiden Immissionen zu geben.

Für belastbarere Ergebnisse wären allerdings Messkampagnen mit einer deutlich größeren Zahl an Messpunkten und einer anderen Vorgehensweise bei der Messpunktauswahl notwendig.

4.2 Sonstige Funksendeanlagen

Neben den Immissionen, verursacht durch GSM- und UMTS-Sender, wurde an 46 von 55 Messpunkten auch festgestellt, welche Felder, verursacht von sonstigen Funksendeanlagen noch nennenswert messbar sind. Es handelte sich dabei im wesentlichen um Felder, verursacht durch regionale Lang- bzw. Mittelwellenrundfunksender sowie um UKW-, DAB- und DVB-T-Sendeanlagen, die der Rundfunkversorgung des Stadtgebietes von Berlin dienen. Die Standorte dieser Sendeanlagen sind in folgender Karte eingezeichnet.

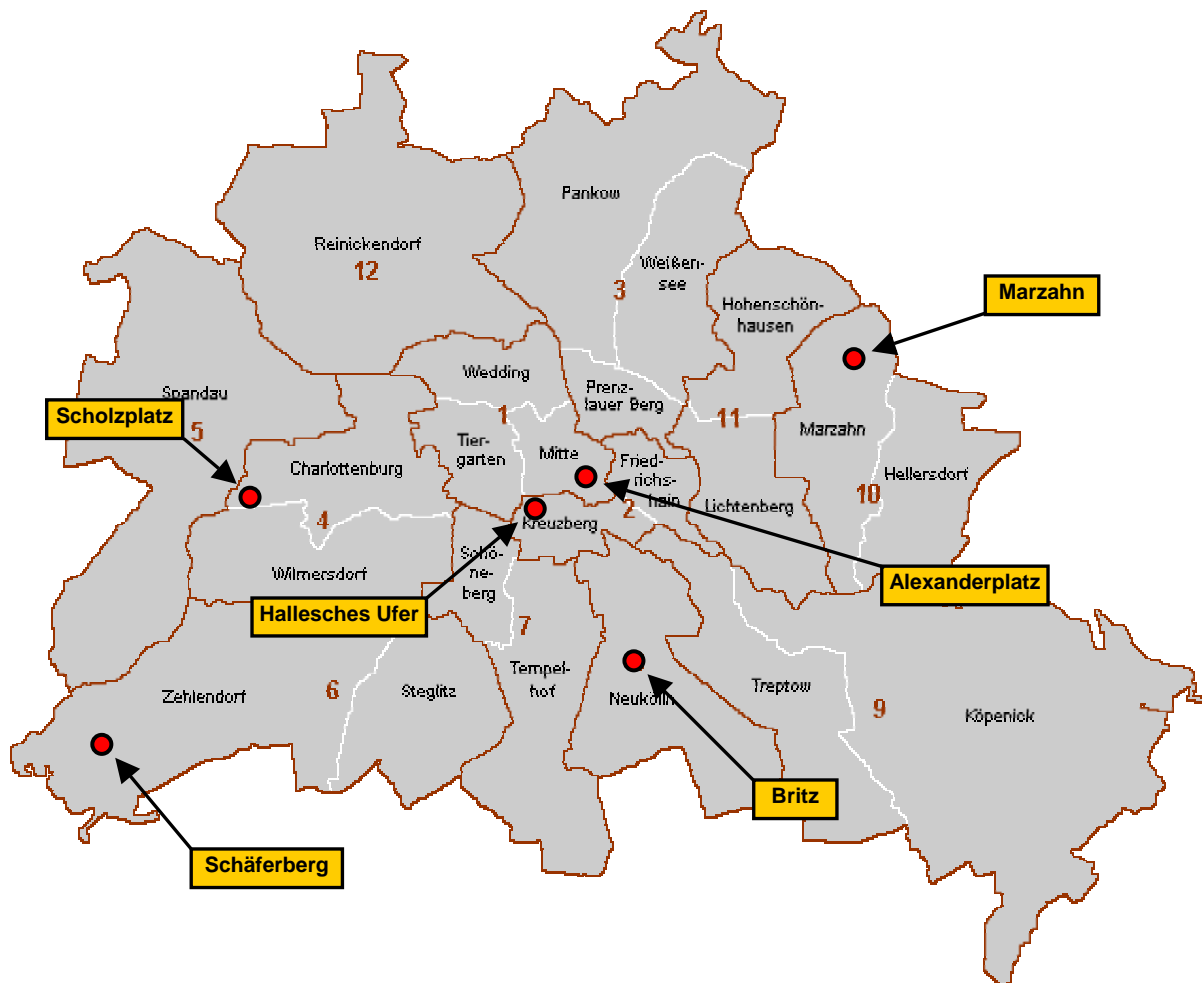


Abb. 8: Standorte von Rundfunk- und TV-Sendern im Stadtgebiet von Berlin

Zusätzlich zu Immissionen, verursacht durch Anlagen an den in Abbildung 8 dargestellten Standorten, konnten an einigen Messpunkten noch Felder gemessen werden, die durch den Langwellensender "Oranienburg" verursacht wurden.

Außerdem wurde an 32 der 46 Messpunkte auch ermittelt, welche Immissionen durch DECT-Telefone verursacht werden. DECT-Geräte fallen zwar nicht unter die 26. BImSchV, um dennoch einen Immissionsvergleich durchführen zu können, wurde als Bezug der Immissionsgrenzwert herangezogen, der nach 26. BImSchV für Funkanlagen, die im DECT-Frequenzbereich (1879,8 - 1895,3 MHz) betrieben werden, anzuwenden ist. Dieser beträgt etwa 59,6 Volt/m.

Die wesentlichen Ergebnisse der Messung von Immissionen, verursacht durch sonstige Funksendeanlagen, sind in folgender Tabelle dargestellt. Eine ausführliche Auflistung dazu findet sich in Anlage 6.3.

Anzahl der untersuchten Messpunkte	46 Messpunkte (Rundfunk), 32 Messpunkte (DECT)
Größter Immissionswert	3,99 % vom Grenzwert an MP 21b (hauptsächlich erzeugt durch den Mittelwellensender Berlin-Britz)
Kleinster Immissionswert	0,07 % vom Grenzwert an MP 8a
Spannweite zwischen kleinster und größter Immission	Ca. 35 dB (Faktor 57)
Im Mittel vorhandene Immission (sonstige Funksendeanlagen)	1,19 % vom Grenzwert
Im Mittel vorhandene Immission (nur DECT)	0,07 % vom Grenzwert
Zum Vergleich: Im Mittel vorhandene Immission (nur Mobilfunk), gebildet aus den 46 hier betrachteten Messpunkten	5,15 % vom Grenzwert
Verantwortlich für den größten Immissionsbeitrag	UKW/DAB/DVB-T an 35 Punkten Langwelle/Mittelwelle an 11 Punkten

Tab. 16: Überblick über wesentliche Resultate der Messung von Immissionen, verursacht durch sonstige Funksendeanlagen (Angaben in Prozent vom Grenzwert für die elektrische Feldstärke).

Im Vergleich zu Rundfunk und TV, stellten offensichtlich die Immissionen, verursacht durch DECT-Telefonsysteme an den Messpunkten im Mittel die weniger wirksame Immissionsquelle dar.

Die mittlere Immission, verursacht durch sonstige Funksendeanlagen ist an diesen 46 Punkten mit einem Wert von 1,19 Prozent vom Grenzwert also etwa um den Faktor 4,3 (d.h. ca.

12,7 dB) geringer, als die dort gefundene mittlere Immission durch Mobilfunk bei Maximalausbau (5,15 Prozent).

Nur an zwei Messpunkten dominierten die Immissionen, verursacht durch sonstige Funksendeanlagen gegenüber den Feldern des Mobilfunks. Es handelt sich dabei um die Punkte 17b und 23a. Hauptursache dafür sind beides Mal die Felder, verursacht durch den Mittelwellensender Berlin-Britz (Deutschlandfunk).

Diese Dominanz des Mobilfunks gegenüber den "sonstigen Sendern" darf keinesfalls als repräsentativ für das Stadtgebiet von Berlin gesehen werden. Man bedenke, dass die Messpunkte bewusst in besondere Nähe zu Mobilfunksendeanlagen gelegt wurden, und daher grundsätzlich überproportionale Immissionen durch Mobilfunksender zu erwarten waren, während gleichzeitig kein besonderes Augenmerk auf eine besondere Nähe zu sonstigen Sendeanlagen gelegt wurde.

Die Ergebnisse anderer Messkampagnen [16,17] an zufällig ausgewählten Messpunkten können hier belastbarere Auskünfte über die Immissionsverteilung zwischen Mobilfunk und sonstige Funksendeanlagen liefern, als es diese Untersuchung vermag.

Die stärksten Immissionen, verursacht durch sonstige Funksendeanlagen, blieben an 42 von 46 Punkten unter zwei Prozent vom Grenzwert, wobei, ähnlich wie beim Mobilfunk, eine sehr große Spannweite zwischen den einzelnen Punkten von etwa 35 dB festgestellt wurde. Die grundsätzliche Größenverteilung der Immissionen, verursacht durch sonstige Funksendeanlagen, ist in folgender Abbildung dargestellt:

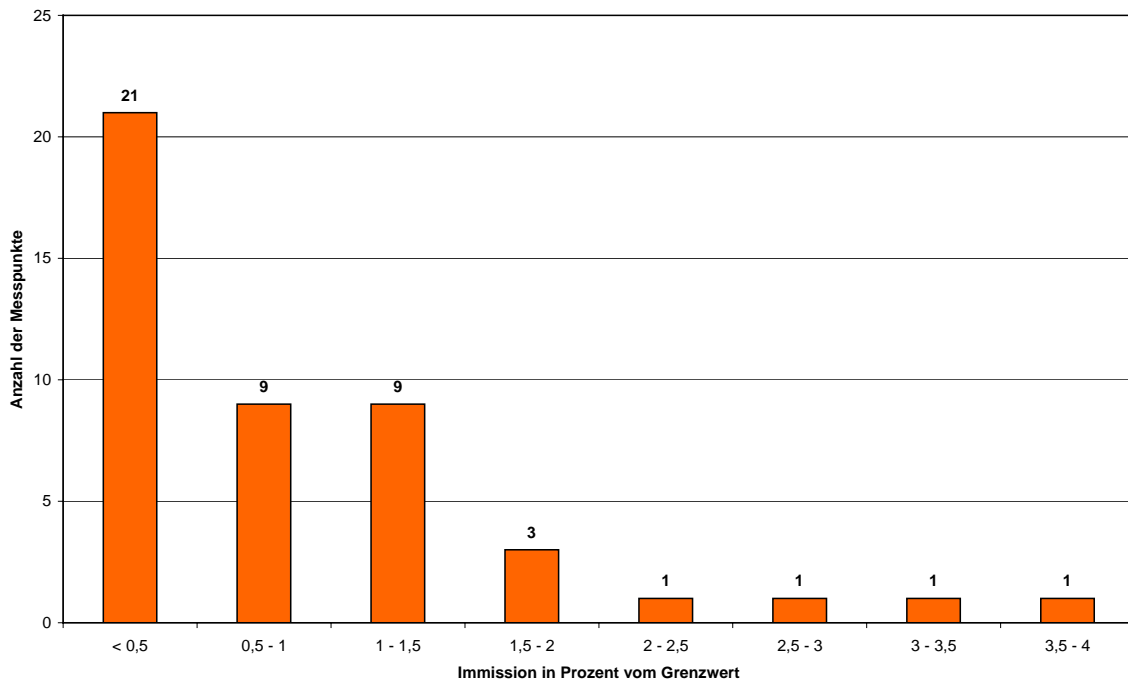


Abb. 9: Verteilung der Immissionen, verursacht durch sonstige Funksendeanlagen (in Prozent vom Grenzwert)

Abschließend lässt sich nun noch für diese 46 Punkte die Gesamtimmission als Summe aus Mobilfunk und sonstigen Funksendeanlagen bilden. Es ergeben sich dabei die folgenden wesentlichen Resultate:

Anzahl der untersuchten Messpunkte	46 Messpunkte
Größter Immissionswert	15,58 % vom Grenzwert an MP 25b
Kleinster Immissionswert	0,88 % vom Grenzwert an MP 19b
Spannweite zwischen kleinster und größter Immission	Ca. 25 dB (Faktor 18)
Durchschnittlicher Immissionswert	5,28 % vom Grenzwert
Verantwortlich für die größte Immission	Sonstige Funksendeanlagen an 2 Punkten Mobilfunk an 44 Punkten

Tab. 17: Gesamtimmission an 46 Messpunkten: Wesentliche Resultate

In Abbildung 10 ist die Größenverteilung der Immission an den 46 Punkten (Gesamtimmission im Vergleich zu Mobilfunkimmission) dargestellt:

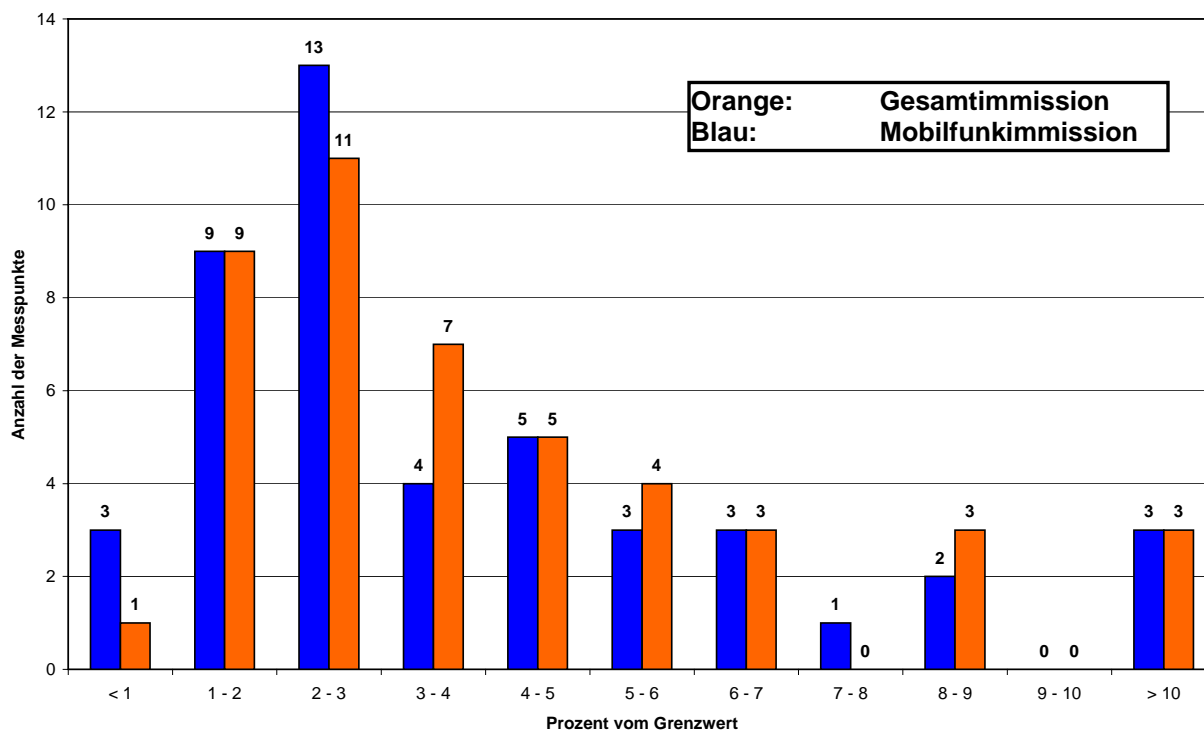


Abb.10: Verteilung der Messergebnisse Mobilfunk und Gesamtimmission (in Prozent vom Grenzwert für die elektrische Feldstärke)

Die grundsätzliche Verteilung der Ergebnisse an den hier betrachteten 46 Messpunkten wird offensichtlich im wesentlichen durch den Mobilfunk dominiert.

4.3 Durch Messung ermittelte Immission im Vergleich zu Berechnungen

Im Rahmen einer zusätzlichen Untersuchung sollen die an den Messpunkten gefundenen Immissionswerte mit rechnerischen Immissionsprognosen verglichen werden. Gewünscht wurde hierbei, die Immissionsberechnungen möglichst vergleichbar mit den Berechnungen in den Standortbescheinigungen der RegTP durchzuführen. Dieser Wunsch konnte allerdings nicht zu 100 Prozent erfüllt werden, da die Berechnungen der RegTP den Zweck haben, Sicherheitsabstände zu definieren, außerhalb derer die Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV bzw. der EU-Ratsempfehlung eingehalten werden. Die Messpunkte des EMF-Messprojektes liegen jedoch immer deutlich außerhalb dieser Sicherheitsbereiche. Die RegTP führt im Rahmen des Standortbescheinigungsverfahrens keine expliziten Immissionsberechnungen für Punkte außerhalb des Sicherheitsabstandes durch, so dass hier auch auf keine Rechenvorschriften der RegTP zurückgegriffen werden kann. Stattdessen wurde hier ein Verfahren angewendet, das sich so weit als möglich an der Vorgehensweise der RegTP bei der Festlegung des Sicherheitsabstandes orientiert. Gemeinsamkeiten und Unterschiede des angewendeten Verfahrens im Vergleich zur RegTP sind im folgenden kurz dargestellt:

- Die Immissionen am Messpunkt werden unter Annahme der Freiraumausbreitung nach DIN VDE 0848 [1] ("Fernfeldformel") berechnet. Diese Formel wendet auch die RegTP bei ihren Berechnungen an.
- Es wird zusätzlich angenommen, dass alle Antennen eines Standortes mit ihrer Hauptsenderichtung genau in Richtung des Messpunktes zeigen. Diese "worst-case"-Betrachtung wird regelmäßig auch im Standortdatenblatt der RegTP bei Berechnung des "Standortbezogenen Sicherheitsabstandes" verwendet.
- Das vertikale Bündelungsverhalten der Mobilfunkantennen wird bei den Berechnungen berücksichtigt, was in den (älteren) Standortdatenblättern der RegTP in vielen Fällen nicht immer der Fall ist. Zusätzlich wird der Tatsache Rechnung getragen, dass die Netzbetreiber die vertikale Absenkung der Hauptsenderichtung in gewissen Winkelbereichen durch elektrisches bzw. mechanisches Einstellen der Antenne variieren können. Der vertikale Öffnungswinkel der Antennen wurde daher entsprechend des vom Betreiber bei der RegTP angegebenen Einstellbereichs geeignet verbreitert.
- Für die Berechnungen werden die Originalantennendiagramme der Hersteller verwendet, allerdings wurden diese etwas modifiziert: Die "Nullstellen" im Vertikaldiagramm wurden auf maximal -15 dB begrenzt, damit im Rahmen der Prognose nicht punktuell zu niedrige Immissionen errechnet werden (In der Praxis zeigt sich, dass aufgrund des realen Antennenaufbaus sowie durch Reflexionen die theoretisch vorhandenen Nullstellen des Antennendiagrammes sich nicht so deutlich ausprägen). Auch wurde berücksichtigt, dass die Netzbetreiber den vertikalen Tiltwinkel der Antennen modifizieren können. Das bedeutet, dass an den Standorten, bei denen vom Betreiber im

RegTP-Antrag kein fester sondern ein variabler Tilt angegeben ist, eine "worst-case"-Berechnung durchgeführt wurde, d.h. es wurde die Immission bei ungünstigstem Tiltwinkel bestimmt.

- Gebäudedämpfung bzw. Zusatzdämpfungen durch Abschattungen (Bewuchs, Bebauung) werden nicht berücksichtigt. Hier herrscht Übereinstimmung mit dem Berechnungsverfahren der RegTP.
- Im Rahmen dieses Projektes wurden die Immissionen aller in der näheren Umgebung des Messpunktes befindlicher Standorte berücksichtigt, während die Berechnung des Sicherheitsabstandes nach RegTP immer nur für einen Standort durchgeführt wird. Andere im Umfeld befindliche Sendeanlagen werden von der RegTP mit einem "standortspezifischen Umweltfaktor" berücksichtigt, was für die Ermittlung der Sicherheitsabstände völlig ausreichend ist.

Durchgeführt wurden die Berechnungen mit dem Softwaretool "*FieldView*", eine Eigenentwicklung der EM-Institut GmbH zur Immissionsprognose bei Mobilfunksendeanlagen.

Umfassende Darstellungen der Berechnungsergebnisse für die einzelnen Messpunkte finden sich in den ausführlichen Dokumentationen, eine zusammenfassende Übersicht ist in Tabelle 18 zu sehen.

Anzumerken ist noch, dass bei einigen Messpunkten bestimmte Standorte nicht mit in die Berechnungen einbezogen wurden, wenn sich bereits im Rahmen der Messungen gezeigt hat, dass diese einen vernachlässigbaren Anteil an der Gesamtmission am Messpunkt besitzen (Punkte 1a/b, 14a/b, 15a/b, 17a/b, 21a/b, 24a/b). Antennen, die sich auf dem Dach des Gebäudes, in dem sich Messpunkte befinden, installiert sind, wurden allerdings einige Male in die Berechnungen mit einbezogen, um dadurch einen Eindruck zu gewinnen, wie stark die durch Messung gefundene Immissionen aufgrund der Gebäudedämpfung unter den Berechnungsergebnissen liegen (Punkte 3b, 9a, 24a, 24b).

Um den Vergleich korrekt durchführen zu können, müssen natürlich die aus den Messungen gewonnenen Werte entsprechend modifiziert werden, d.h. die Immissionen der nicht in die Berechnungen einbezogenen Standorte werden aus den Messresultaten herausgenommen. Daher ergeben sich in Spalte 2 von Tabelle 18 für einige Messpunkte etwas geringere "Zahlenwerte", als in Spalte 10 der zusammenfassenden Aufstellung in Anlage 6.2 angegeben. Welche Stationen jeweils für die Berechnungen herangezogen wurden, ist in den detaillierten Einzelberichten angegeben.

Messpunkt Nr.	Berechnete Immission	Messtechnisch ermittelte Immission	Unterschiedsfaktor (Durch Messung ermittelt / Berechnung)
	[Prozent vom Grenzwert]		
1a	15,13	8,66	0,57
1b	6,88	2,55	0,37
2a	6,88	4,40	0,64
2b	6,88	2,77	0,40
3a	29,76	3,38	0,11
3b	20,09	1,80	0,09
4a	9,03	3,84	0,43
4b	2,96	1,86	0,63
4c	3,12	2,03	0,65
4d	2,92	2,87	0,98
4e	3,17	1,62	0,51
5a	3,62	3,61	1,00
5b	1,77	2,33	1,32
6a	4,95	3,10	0,63
6b	5,82	1,64	0,28
7a	17,89	7,73	0,43
7b	13,14	10,30	0,78
8a	4,54	1,30	0,29
8b	4,86	2,16	0,44
9a	15,36	1,06	0,07
9b	7,10	6,99	0,98
10a	16,41	5,63	0,34
10b	16,43	3,84	0,23
11a	9,61	2,42	0,25
11b	7,87	5,40	0,69
12a	6,71	2,79	0,42
12b	7,34	2,91	0,40
13a	3,59	2,02	0,56
13b	3,89	2,36	0,61
14a	10,93	5,95	0,54
14b	10,93	4,10	0,38
15a	11,94	13,58	1,14
15b	19,89	2,84	0,14
16a	6,16	4,80	0,78
16b	5,87	4,20	0,72
17a	11,23	5,55	0,49
17b	11,01	0,62	0,06
18a	7,55	1,76	0,23
18b	8,88	1,71	0,19
19a	1,86	0,92	0,49
19b	1,77	0,84	0,47
20a	6,05	4,42	0,73
20b	7,86	2,74	0,35
21a	11,44	1,11	0,10
21b	11,53	3,92	0,34
22a	21,00	2,34	0,11
22b	18,26	2,80	0,15
23a	4,08	1,49	0,37
23b	3,69	0,30	0,08
23c	3,81	0,35	0,09
23d	3,94	0,74	0,19
24a	16,16	0,98	0,06
24b	19,89	1,21	0,06
25a	10,20	6,74	0,66
25b	15,64	15,57	1,00

Mittlerer Unterschiedsfaktor:	0,46
Maximaler Unterschiedsfaktor:	1,32
Minimaler Unterschiedsfaktor:	0,06

Tab. 18: Vergleich der berechneten Immissionen mit den aus den Messungen gewonnenen Werten (Maximalausbau)

Eine Auswertung der Ergebnisse aus Tabelle 18 zeigt, dass an 53 von 55 Punkten die Berechnung höhere Immissionswerte liefert, als messtechnisch vor Ort festgestellt wurden. Im Mittel wurde nur 46 Prozent vom Prognosewert vor Ort gemessen, was bedeutet, dass die Berechnungen die Immissionen um etwa 6,7 dB überbewerten.

An zwei Punkten wurden etwas höhere Immissionswerte gemessen, als die Berechnung liefert. Ursachen für diese Unterbewertung können nicht eindeutig angegeben werden. Möglich sind beispielsweise Verzerrungen des Antennendiagramms durch den realen Aufbau vor Ort. Auch Feldverzerrungen am Messpunkt (z.B. Feldstärkeüberhöhungen, verursacht durch Wechselwirkung der elektromagnetischen Welle mit metallischen Objekten in der Umgebung oder durch stehende Wellen aufgrund von Reflexionen beispielsweise an Gebäudemauern) sind ebenfalls denkbar und in der Praxis nie ganz auszuschließen. Die rechnerische Unterschätzung der Immissionen an den beiden Punkten ist allerdings als gering zu bezeichnen. Im Mittel wurde hier um 1,8 dB mehr gemessen, als die Berechnung prognostizierte.

An den vier Punkten in Gebäuden, auf deren Dächern Mobilfunkantennen installiert sind (Punkte 3b, 9a, 24a, 24b), ergab sich mit einem mittleren Unterschiedsfaktor (durch Messung ermittelt / Berechnung) von 0,06 (d.h. 6 %) eine besonders große Differenz zwischen Messung und Berechnung (entspricht etwa 24 dB). Da das angewendete Rechenverfahren nur für Immissionsabschätzungen im nahen Umfeld der Sendeantennen ausgelegt ist und auch keine Gebäudedämpfung berücksichtigt, wurden bei derartigen Situationen die zu erwartenden Immissionen also deutlich überschätzt.

Insgesamt gesehen erscheint das im Rahmen dieses Projektes angewendete Rechenverfahren offensichtlich als ein gut geeignetes Mittel für eine ausreichend konservative Immissionsprognose. Es kann jedoch nicht völlig ausgeschlossen werden, dass nachträgliche Messungen in seltenen Einzelfällen etwas höhere Immissionswerte ergeben als im Vorfeld rechnerisch prognostiziert. Im Durchschnitt betrachtet, liefern die rechnerischen Prognosen jedoch insbesondere bei fehlender Sichtverbindung eine nicht unerhebliche Überschätzung der Immission.

4.4 Vergleich mit Messkampagnen aus der Vergangenheit

Es liegt natürlich nahe, die im Rahmen des "EMF-Messprojektes Berlin" gefundenen Immissionswerte mit den Resultaten aus anderen Messkampagnen zu vergleichen. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass einzelne Messkampagnen oft nicht direkt vergleichbar sind, da entweder andere Verfahren der Immissionsbestimmung angewendet wurden oder die Messpunktauswahl einen deutlichen Einfluss auf die mittlere Größe der Immissionen ausübt. Beispielfhaft wird im folgenden das "EMF-Messprojekt Berlin" vier aktuellen Messkampagnen aus anderen Bundesländern gegenübergestellt, um die Unterschiede zum Berliner Projekt zu verdeutlichen.

Nordrhein-Westfalen (IZMF-Messkampagne 2003) [18]:

Die Messwerte wurden, ähnlich wie in Berlin, auf die höchste betriebliche Anlagenauslastung hochgerechnet, die Messpunktauswahl (meist Vorgabe der betreffenden Kommune) war jedoch etwas einseitig: Es wurden in der Mehrzahl Messungen an "empfindlichen Orten"

(Schulen, Kindergärten etc.) durchgeführt, auch wenn sich diese z.B. deutlich im "Nahbereichsschatten" der Anlagen befanden. Es wurde also nicht so häufig wie in Berlin nach Orten mit "Spitzenexposition" (Dachterrassen, Balkone in oberen Stockwerken etc.) gesucht. Daher ergaben sich bei dieser Kampagne im Mittel auch etwas niedrigere Mobilfunkimmissionen als in Berlin (ca. 1 Prozent vom Feldstärkegrenzwert).

Messkampagnen in Bayern und Baden-Württemberg [16,17]:

Auch bei diesen beiden Messkampagnen fanden sich im Mittel niedrigere Mobilfunkimmissionswerte als bei den Messungen in Berlin (typisch: kleiner 1 Prozent vom Feldstärkegrenzwert). Dies lässt sich jedoch wie folgt aus dem Design der Messprojekte erklären:

Bei diesen beiden Kampagnen wurde nur die aktuelle Immission am Messort ermittelt, es fand keine Hochrechnung auf höchste betriebliche Anlagenauslastung statt. Ein weiterer Grund, warum die Messwerte unterhalb der Berliner Werte lagen, ist die Messpunktauswahl: In Berlin wurde bewusst die Nähe zu Mobilfunksendern gesucht, während in Bayern bzw. Baden-Württemberg aufgrund der zufälligen Messpunktauswahl nur gelegentlich eine Mobilfunkstation in unmittelbarer Nähe des Messpunktes zu liegen kam. Außerdem wurde in Baden-Württemberg aufgrund des festen Messpunktrasters auch außerhalb von Ortschaften auf der freien Wiese bzw. im Wald gemessen. Dies führt zusätzlich zu einer Verringerung der mittleren Größe der Messergebnisse (In Bayern wurden zwar die Messpunkte ausschließlich innerhalb von Wohngebieten gelegt, der Messaufbau war jedoch nicht geeignet, das Feldstärkemaximum im Messvolumen zu ermitteln). Zusätzlich ist anzumerken, dass bei beiden Messkampagnen nur outdoor in Bodennähe gemessen wurde, also keine Messorte innerhalb von Gebäuden in größerer Höhe (d.h. näher an der vertikalen Hauptsenderichtung der Mobilfunkantennen) gewählt wurden, was ebenfalls die mittlere Immission niedrig hält.

Ziel der Messkampagnen in Bayern und Baden Württemberg war nicht, die Spannweite der Mobilfunkimmissionen darzustellen, insbesondere war es nicht Aufgabe, die maximal in Wohnbereichen auftretenden Immissionen zu ermitteln, sondern hier ging es um "Umweltmonitoring". Es sollten durchschnittliche Immissionswerte gesammelt werden, möglichst durch Mittelung über viele, wohl definierte Messpunkte (ca. 900 in Baden-Württemberg bzw. 400 in Bayern), so dass die Möglichkeit besteht, in einigen Jahren die Messungen zu wiederholen, um durch Vergleich der Resultate eine Aussage über eventuelle Veränderungen der mittleren Immission der Bürger treffen zu können.

Hessen (IZMF-Messkampagne 2004) [19]:

Im Gegensatz zur Messkampagne in Nordrhein-Westfalen, wurde bei dieser Untersuchung etwas größeres Augenmerk auf besonders exponierte Orte gelegt. Daher ergaben sich dort auch im Mittel Mobilfunkimmissionen, die sich mit etwa 2,5 Prozent vom Feldstärkegrenzwert näher am Berliner Wert (4,78 Prozent) bewegen.

Wie diese Beispiele zeigen, ist ein Vergleich der Resultate verschiedener Messkampagnen nur dann sinnvoll, wenn diese mit vergleichbaren Messverfahren und ähnlicher Messpunkt-auswahl durchgeführt wurden.

5. Literaturverzeichnis

- [1] **DIN VDE 0848**
 "Sicherheit in elektromagnetischen Feldern – Grenzwerte von Feldstärken zum Schutz von Personen, Teil 1: Mess- und Berechnungsverfahren"
 VDE-Verlag GmbH, Berlin, 08/2000.
- [2] **Bundesrepublik Deutschland**
 "26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes"
 Bundesgesetzblatt Jg. 1996, Teil I, Nr.66, Bonn 20.12.1996.
- [3] **Der Rat der Europäischen Union**
 "Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)"
 Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L199, 30.07.1999, S. 59 – 70.
- [4] **Länderausschuss für Immissionsschutz"**
 "Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV in der Fassung vom 26. März 2004"
 3/2004; Internet: www.lai-immissionsschutz.de
- [5] **Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (METAS)**
 "Mobilfunkbasisstationen (GSM), Messempfehlung"
 Bern, 2002; Internet: www.umwelt-schweiz.ch/buwal
- [6] **Chr. Bornkessel, M. Neikes, A. Schramm**
 "Elektromagnetische Felder in NRW - Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunkbasisstationen"
 Abschlussbericht, IMST GmbH, Kamp-Lintfort 8/2002
- [7] **M. Wuschek**
 "Feldstärkemessungen in der Umgebung von GSM-Mobilfunkbasisstationen"
 EMV 2002; Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit
 VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2002, S. 683-692
- [8] **Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (METAS)**
 "Mobilfunkbasisstationen (UMTS-FDD), Messempfehlung (Entwurf)",
 Bern 9/2003; Internet: www.umwelt-schweiz.ch/buwal
- [9] **M. Wuschek**
 "Feldstärkemessungen in der Umgebung von UMTS-Mobilfunkbasisstationen"
 EMV 2004; Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit
 VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2004, S. 539-548.
- [10] **G. Schmid, P. Preiner, R. Überbacher, G. Neubauer**
 Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren in Haushalt und Büro, Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben StSch 4403 des Bundesamtes für Strahlenschutz, Seibersdorf 2004; Internet: www.bfs.de

-
- [11] **M. Wuschek**
"Langzeiterfassung hochfrequenter Immissionen von Funksendeanlagen im Kanton Schwyz"
Abschlussbericht, INVENTIS AG, EM-Institut, Zürich/Regensburg 12/2003
- [12] **H. Lehmann, P. Fritschi, B. Eicher**
"The Variability of the Electric Field in Rooms near Mobile Phone Base Stations"
15th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, Zürich 2/2003
- [13] **H. Haider, G. Neubauer, P. Preiner, R. Überbacher**
"Paralleles Langzeitmonitoring von Basisstationssignalen unter Berücksichtigung meteorologischer Einflüsse"
EMV 2004, Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit; VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2004
- [14] **P. Bernardi et. al.**
"A UTD/FDTD Investigation on Procedures to Assess Compliance of Cellular Base-Station Antennas With Human-Exposure Limits in a Realistic Urban Environment"
IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol 51, No. 12, 12/2003
- [15] **RegTP MV09/EMF/3**
Messvorschrift für bundesweite EMVU-Messreihen der vorhandenen Umgebungsfeldstärken
Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, Bonn 2/2003
- [16] **J. Bernkopf**
"Messprogramme elektromagnetischer Felder in Bayern"
Fachtagung "Immissions- und Arbeitsschutz bei elektromagnetischen Feldern", Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht, Mainz 2/2003
- [17] **H. Menges**
"Funkwellenmessprojekt Baden-Württemberg"
Fachtagung "Immissions- und Arbeitsschutz bei elektromagnetischen Feldern", Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht, Mainz, 2/2003
- [18] **Informationszentrum Mobilfunk (Herausgeber)**
Mobilfunk Messreihe in Nordrhein-Westfalen: Ergebnisse - Bewertung - Diskussion
12/2003; Internet: www.izmf.de
- [19] **Informationszentrum Mobilfunk (Herausgeber)**
Mobilfunk Messreihe in Hessen: Ergebnisse - Bewertung - Diskussion
06/2004; Internet: www.izmf.de

6. Anlagen

6.1 Übersicht über die 55 Messpunkte und die Anlagenstandorte

MP Nr.	indoor	outdoor	Standort	Sicht	Entfernung [m]	V-Winkel [°]
1a		x	<p><i>Die in dieser Spalte enthaltenen Angaben wurden gelöscht, da diese personenbezogene Daten im Sinne des Berliner Datenschutzgesetzes darstellen.</i></p>	Ja	59	-5
				Nein		
1b	x			Ja	82	-12
				Nein		
2a		x		Ja	35	-12
				Ja	218	-3
2b	x			Nein	34	
				Nein	215	
3a		x		Ja	13	-25
				Nein	96	
3b	x			Nein	11	
				Nein	96	
4a	x			Ja	70	-6
4b		EG		Ja	68	-14
4c	EG-1.OG			Ja	68	-12
4d	1. - 2.OG			Ja	68	-10
4e	2. - 3.OG			Ja	68	-8
5a		x		Ja	44	-30
5b		x		Ja	89	-16
6a		x		Ja	107	-14
				Ja	53	-28
6b	x			Ja	126	-10
				Ja	60	-23
7a		x		Ja	39	-9
7b		x		Ja	28	-15
8a	x			Ja	116	-16
8b	x			Ja	116	-15
9a	x			Nein	6	
9b	x			Ja	85	-5
10a	x			Ja	74	-10
10b		x		Ja	69	-11
11a	x			z.T.	86	-17
				Nein	35	
11b		x		Nein	240	
				Ja	78	-17
12a		x		Nein	32	
				Ja	227	-3
12b		x		Ja	96	-19
				Ja	117	-17
12b		x		Ja	146	-15
				Ja	99	-19
12b		x		Ja	101	-17
				z.T.	106	-18
12b		x		Ja	126	-17
				Ja	68	-26

MP Nr.	indoor	outdoor	Standort	Sicht	Entfernung [m]	V-Winkel [°]
13a	x		<i>Die in dieser Spalte enthaltenen Angaben wurden gelöscht, da diese personenbezogene Daten im Sinne des Berliner Datenschutzgesetzes darstellen.</i>	Ja	30	-32
13b		x		Nein	191	
14a	x			Ja	24	-39
14b	x			Ja	21	-26
15a		x		Ja	21	-26
15b	x			Ja	53	-6
16a		x		Ja	22	-21
				Ja	134	-9
16b				Nein	150	-8
	x			Nein	189	
17a		x		Nein	172	
				Ja	77	-10
17b	x			Nein	175	
				Nein	80	
18a		x		Nein	23	
				Ja	46	-22
18b	x			Nein	25	
				Ja	41	-24
19a		x		Ja	39	-41
19b	x			Nein	37	
20a		x		Ja	56	-21
20b	x			Ja	60	-17
21a	x			Nein	8	
				Nein	240	
21b		x		Ja	9	-38
			Nein	240		
22a	x		z.T.	5	-27	
			Nein	162		
22b		x	Nein	6		
			Nein	155		
23a	x		Ja	35	-17	
23b	EG		Ja	35	-32	
23c	1.OG		Ja	35	-27	
23d	2.OG		Ja	35	-23	
24a	x		Nein	10		
			Ja	340	-2	
24b	x		Nein	8		
			Ja	345	-2	
25a			Ja	86	-16	
25b	x		Ja	86	-5	

Der in Spalte 6 angegebene Wert versteht sich als die kürzeste Horizontalentfernung zwischen Messpunkt und der am nächsten liegenden Antenne.

Detailinformationen zu den Messpunkten finden sich in den 25 Einzelmessberichten.

6.2 Ergebnisse Mobilfunk

Messpunkt Nr.	Minimal			Aktuell			Maximal		
	GSM	UMTS	Summe	GSM	UMTS	Summe	GSM	UMTS	Summe
1a	1,68	1,83	2,49	3,25	5,80	6,65	3,36	8,23	8,89
1b	0,91	0,34	0,97	1,58	1,08	1,91	1,81	2,35	2,97
2a	1,15	0,48	1,25	1,68	1,53	2,27	2,30	3,75	4,40
2b	0,64	0,32	0,72	0,91	1,00	1,35	1,29	2,45	2,77
3a	1,41	0,41	1,47	2,00	1,31	2,39	2,83	1,85	3,38
3b	0,55	0,32	0,63	0,77	1,01	1,28	1,10	1,43	1,80
4a	1,44	0,33	1,48	1,46	1,04	1,79	2,89	2,54	3,84
4b	0,43	0,21	0,48	0,44	0,67	0,80	0,86	1,65	1,86
4c	0,46	0,23	0,51	0,47	0,74	0,88	0,91	1,82	2,03
4d	0,48	0,35	0,59	0,49	1,10	1,21	0,96	2,70	2,87
4e	0,45	0,17	0,48	0,47	0,55	0,72	0,90	1,35	1,62
5a	0,89	0,70	1,13	1,57	2,22	2,72	1,78	3,14	3,61
5b	0,56	0,46	0,72	0,98	1,44	1,74	1,12	2,04	2,33
6a	1,51	0,19	1,52	2,60	0,61	2,67	2,98	0,86	3,10
6b	0,77	0,17	0,79	1,29	0,53	1,39	1,46	0,74	1,64
7a	3,50	1,07	3,66	4,97	3,39	6,02	6,07	4,79	7,73
7b	1,74	2,20	2,81	2,52	6,96	7,40	3,01	9,84	10,30
8a	0,51	0,20	0,55	0,86	0,63	1,07	0,95	0,89	1,30
8b	0,67	0,39	0,77	1,16	1,23	1,69	1,28	1,73	2,16
9a	0,53	entf.	0,53	0,75	entf.	0,75	1,06	entf.	1,06
9b	3,49	entf.	3,49	4,94	entf.	4,94	6,99	entf.	6,99
10a	1,40	0,72	1,58	1,98	2,28	3,02	2,74	4,92	5,63
10b	0,96	0,55	1,11	1,36	1,75	2,22	1,88	3,35	3,84
11a	0,62	0,44	0,76	0,87	1,40	1,65	1,24	2,08	2,42
11b	1,48	0,97	1,77	2,06	3,08	3,71	2,95	4,52	5,40
12a	0,74	0,53	0,90	1,18	1,66	2,04	1,50	2,35	2,79
12b	0,67	0,58	0,88	0,99	1,83	2,08	1,32	2,59	2,91
13a	1,01	entf.	1,01	1,43	entf.	1,43	2,02	entf.	2,02
13b	1,18	entf.	1,18	1,67	entf.	1,67	2,36	entf.	2,36
14a	0,70	1,33	1,50	0,98	4,21	4,32	1,40	5,95	6,11
14b	0,49	0,92	1,04	0,70	2,90	2,98	0,99	4,10	4,21
15a	0,34	3,04	3,06	0,55	9,61	9,62	0,65	13,58	13,60
15b	0,60	0,59	0,84	0,97	1,86	2,10	1,14	2,64	2,87
16a	1,90	0,38	1,94	3,27	1,20	3,48	3,79	2,95	4,80
16b	2,06	0,11	2,06	3,54	0,35	3,56	4,11	0,86	4,20
17a	2,47	0,58	2,53	4,92	1,83	5,25	4,93	2,59	5,57
17b	0,27	0,07	0,28	0,54	0,23	0,58	0,54	0,32	0,63
18a	0,68	0,29	0,74	1,09	0,91	1,42	1,20	1,29	1,76
18b	0,77	0,20	0,79	1,31	0,63	1,45	1,45	0,89	1,71
19a	entf.	0,17	0,17	entf.	0,53	0,53	entf.	0,92	0,92
19b	entf.	0,15	0,15	entf.	0,49	0,49	entf.	0,84	0,84
20a	2,21	entf.	2,21	3,83	entf.	3,83	4,42	entf.	4,42
20b	1,37	entf.	1,37	2,38	entf.	2,38	2,74	entf.	2,74
21a	0,78	0,24	0,82	1,11	0,76	1,34	1,11	1,08	1,54
21b	2,77	1,39	3,10	3,92	4,40	5,89	3,92	6,99	8,01
22a	0,24	0,51	0,57	0,49	1,62	1,69	0,49	2,29	2,34
22b	0,42	0,60	0,73	0,84	1,89	2,07	0,84	2,67	2,80
23a	0,75	entf.	0,75	1,05	entf.	1,05	1,49	entf.	1,49
23b	0,15	entf.	0,15	0,21	entf.	0,21	0,30	entf.	0,30
23c	0,18	entf.	0,18	0,24	entf.	0,24	0,35	entf.	0,35
23d	0,37	entf.	0,37	0,52	entf.	0,52	0,74	entf.	0,74
24a	0,56	0,42	0,70	0,87	1,32	1,59	1,09	2,34	2,59
24b	0,51	0,21	0,55	0,72	0,66	0,98	1,01	1,13	1,52
25a	2,85	0,70	2,93	4,10	2,22	4,67	5,69	3,61	6,74
25b	5,05	2,56	5,66	7,51	8,09	11,03	10,11	11,85	15,57
Mittelwerte:			1,68			3,43			4,78

Alle Angaben in Prozent vom Feldstärkegrenzwert. Detailinformationen zu den Messergebnissen finden sich in den 25 Einzelmessberichten.

6.3 Ergebnisse "Sonstige Funksendeanlagen" und Gesamtmission

Messpunkt Nr.	Mobilfunk	Sonstige Sender			Summe Rundfunk+DECT	Gesamtmission
		LW/MW	UKW/DAB/DVB-T	DECT		
1a	8,89	0,06	1,07	0,05	1,07	8,95
1b	2,97	0,04	1,52	0,09	1,52	3,33
2a	4,40	1,02	2,23	entf.	2,46	5,04
3a	3,38	0,10	0,44	0,01	0,45	3,41
3b	1,80	0,03	0,47	0,02	0,47	1,86
4a	3,84	0,05	1,17	0,02	1,17	4,01
5b	2,33	0,05	0,13	entf.	0,14	2,33
6a	3,10	0,08	0,65	entf.	0,66	3,17
6b	1,64	0,03	0,29	0,004	0,30	1,67
7a	7,73	0,14	2,66	0,01	2,66	8,18
7b	10,30	0,08	1,35	0,01	1,35	10,39
8a	1,30	0,01	0,07	0,001	0,07	1,30
8b	2,16	0,07	0,17	0,001	0,19	2,17
9a	1,06	0,04	0,30	0,01	0,31	1,10
9b	6,99	0,03	0,24	0,001	0,24	6,99
10a	5,63	0,04	0,15	0,001	0,16	5,63
10b	3,84	0,08	0,12	entf.	0,14	3,84
11a	2,42	0,10	0,24	entf.	0,26	2,44
11b	5,40	0,21	0,16	entf.	0,26	5,40
12a	2,79	0,20	1,43	entf.	1,44	3,14
12b	2,91	0,12	1,10	0,30	1,15	3,13
13a	2,02	0,95	0,97	0,01	1,36	2,44
13b	2,36	1,45	0,62	entf.	1,57	2,83
14a	6,11	0,13	0,41	0,05	0,44	6,13
14b	4,21	0,09	0,29	0,02	0,31	4,22
15a	13,60	0,25	0,35	0,28	0,52	13,61
15b	2,87	0,06	0,47	0,01	0,47	2,91
16a	4,80	0,06	0,50	entf.	0,51	4,83
16b	4,20	0,02	0,69	entf.	0,69	4,26
17a	5,57	1,14	0,25	0,02	1,17	5,69
17b	0,63	3,01	0,48	0,11	3,05	3,11
18a	1,76	0,45	0,62	0,07	0,77	1,92
18b	1,71	0,57	0,39	0,11	0,69	1,84
19a	0,92	0,54	0,39	entf.	0,67	1,14
19b	0,84	0,24	0,13	0,004	0,27	0,88
20a	4,42	0,91	0,43	0,015	1,00	4,53
20b	2,74	0,45	0,21	entf.	0,49	2,78
21a	1,54	0,70	0,83	entf.	1,09	1,89
21b	8,01	3,66	1,61	entf.	3,99	8,95
22a	2,34	0,16	0,45	0,03	0,48	2,39
22b	2,80	0,22	0,50	0,02	0,55	2,85
23a	1,49	1,49	0,84	0,01	1,71	2,27
24a	2,59	0,04	0,19	0,004	0,20	2,60
24b	1,52	0,16	0,20	0,01	0,25	1,54
25a	6,74	0,03	0,14	0,01	0,15	6,74
25b	15,57	0,05	0,60	0,09	0,61	15,58
Mittelwerte:	5,15	0,84	0,83	0,07	1,19	5,28

Alle Angaben in Prozent vom Feldstärkegrenzwert. Detailinformationen zu den Messergebnissen finden sich in den 25 Einzelmessberichten.

6.4 Kurzportraits der Auftragnehmer

Im folgenden werden die beiden Auftragnehmer, die EM-Institut GmbH und die IMST GmbH, kurz vorgestellt:

EM-Institut GmbH, Regensburg:

Die Ermittlung der Exposition durch hochfrequente Felder in der Umgebung von Sendeanlagen stellt derzeit den Schwerpunkt der wissenschaftlich-technischen Arbeiten der EM-Institut GmbH, Regensburg dar.

Allein in den letzten drei Jahren wurden unter Leitung von Prof. Wuschek mehr als 200 größere Projekte aus dem Gebiet der elektromagnetischen Felder in der Umwelt bearbeitet. Es handelte sich zum überwiegenden Teil um Feldstärkemessungen oder -berechnungen mit zugehöriger Bewertung der Ergebnisse (Grenzwertvergleich). Der Schwerpunkt lag dabei eindeutig auf den Feldern von GSM- und UMTS-Mobilfunkanlagen, jedoch wurden bei manchen Projekten auch die Felder anderer Sendeanlagen (z.B. Rundfunk/TV, Radar) gemessen und bewertet.

Folgende Tabelle gibt einen aktuellen Überblick über große, mit öffentlichen Auftraggebern durchgeführte Projekte:

Projekt	Auftraggeber
Möglichkeiten und Grenzen der Minimierung von Mobilfunkimmissionen: Auf Messdaten und Simulationen basierende Optionen und Beispiele*	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU)
Rahmenvertrag betreffend der Durchführung der im Aufgabengebiet des LfU anfallenden Immissionsmessungen in der Umgebung von Funksendeanlagen (14 Projekte im Jahr 2001)	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU)
Durchführung der Immissionsmessungen Mobilfunk in den "Pilotgemeinden" zum "Runden Tisch Mobilfunk Bayern" (6 große Städte; z.B. Regensburg, Passau, Erlangen, Augsburg, Ingolstadt, Landshut mit je 20 Messpunkten und 40 kleinere Gemeinden mit je 10 Messpunkten)	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU)
Feldstärkemonitoring in Bayern (Messungen an 400 statistisch ausgewählten Punkten): Wissenschaftliche Projektbegleitung und Durchführung der Messungen an 200 Punkten	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU)
Funkwellenmessprojekt Baden-Württemberg (ca. 900 Mess-	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-

punkte). Durchführung zusammen mit Fa. Botronic, Stuttgart	Württemberg
Kontrollmessungen in der Umgebung von 25 Mobilfunkstandorten. Überprüfung der Einhaltung der "Schweizer Anlagegrenzwerte". Vergleich mit Berechnungsergebnissen (Durchführung zusammen mit Fa. Inventis, Zürich)	Kantonsverwaltung Schwyz (Schweiz)
Aufbau und Betrieb eines Systems zur Langzeiterfassung elektromagnetischer Felder im Hochfrequenzbereich (Durchführung zusammen mit Fa. Inventis, Zürich)	Kantonsverwaltung Schwyz (Schweiz)
Messtechnische Ermittlung hochfrequenter elektromagnetischer Felder an repräsentativen Orten im Bundesland Schleswig-Holstein (40 Einzelmessungen)	Staatliches Umweltamt Kiel und Umweltministerium des Landes Schleswig-Holstein
Machbarkeitsstudie zur Einführung einer dauerhaften Überwachung hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Bayern	Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen
Messtechnische Ermittlung der Feldexposition in 38 Rinderhaltungen	Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen
Messung hochfrequenter Felder an 106 Punkten im Fürstentum Liechtenstein	Amt für Kommunikation des Fürstentums Liechtenstein

*: derzeit in Bearbeitung

Zusätzlich zu diesen Großprojekten werden derzeit im Jahresdurchschnitt etwa 50 kleinere Einzelprojekte (meist Immissionsmessungen) im Auftrag von Kommunen, Gerichten oder Netzbetreibern durchgeführt.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt liegt in der Erarbeitung und Validierung von Messverfahren zur Bestimmung der Exposition in der Umgebung von GSM- bzw. UMTS-Mobilfunkbasisstationen. Erfahrungen daraus fließen ein in die nationale und internationale Normung durch Mitarbeit im GAK 764/767 „Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern - Mess- und Berechnungsverfahren“ der DKE.

Anfang 2000 wurde Prof. Wuschek durch die Regierung von Oberbayern zum öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen im Fachgebiet "Elektromagnetische Felder und Umwelt" ernannt.

Das EM-Institut ist außerdem beim Bayerischen Landesamt für Umweltschutz als zertifizierte Messstelle für hochfrequente Felder gelistet.

IMST GmbH, Kamp-Lintfort:

Die IMST GmbH ist im Bereich der Forschung und Entwicklung auf dem gesamten Gebiet der modernen Telekommunikationstechnik und der Mikroelektronik tätig. Die derzeit etwa 120 wissenschaftlichen Mitarbeiter arbeiten in den fünf Abteilungen

- HF-Schaltungen & Systemintegration,
- Antennen & EM Modelling,
- Information & Communication Systems,
- Wireless Solutions und
- Prüfzentrum.

Die Abteilung „Prüfzentrum“ beschäftigt sich mit der EMV- (Elektromagnetische Verträglichkeit) und EMVU-Prüfung (Elektromagnetische Umweltverträglichkeit) von Geräten und Anlagen. Hierfür steht ein mit Absorberkammer und Schirmkabine modern ausgerüstetes, akkreditiertes EMV-Labor zur Verfügung.

Darüber hinaus ist ein weiterer Schwerpunkt dieser Abteilung die Untersuchung und Bewertung der Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern. Mit dem dosimetrischen Messsystem DASY4 wird sowohl die spezifische Absorptionsrate SAR von Mobiltelefonen messtechnisch ermittelt, als auch Messungen der elektrischen und magnetischen Nahfelder von Hochfrequenz-Sendeeinrichtungen durchgeführt. Unterstützt werden diese Messungen durch leistungsfähige numerische Simulationswerkzeuge, mit denen anhand von detaillierten numerischen Phantommodellen und Körpermodellen elektromagnetische Feldverteilungen im menschlichen Körper berechnet werden können.

Im Bereich der Immissionsmessungen unter realen Bedingungen verfügt die IMST GmbH über langjährige, einschlägige Erfahrungen. Hier werden regelmäßig Expositionsmessungen in der Umgebung von Sendeanlagen, wie z.B. Mobilfunk-, Rundfunk-, Fernseh- oder Radaranlagen unterschiedlicher Betreiber durchgeführt. Die messtechnische Überprüfung dieser Anlagen bezüglich der Grenzwerte der 26. BImSchV wird u.a. von Gerichten im Rahmen von Beweissicherungsverfahren in Anspruch genommen. Diese Messungen umfassen seit einigen Monaten auch die Immissionen von UMTS-Basisstationen.

Neben zahlreichen Einzelmessaktivitäten für Verbraucherverbände, Firmen, Privatpersonen, Gerichte sowie Netzbetreiber wurden auf diesem Arbeitsgebiet auch einige relevante Großprojekte durchgeführt:

In 1997 ist eine Studie *"Maßnahmenkatalog zur Verminderung der elektromagnetischen Umweltbelastung"* für das Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW abgeschlossen worden.

In den Jahren 1998 bis 1999 wurde für denselben Auftraggeber ein gemeinsames Großprojekt *"Elektromagnetische Felder in NRW – Vorstudie zur Prüfung der Realisierbarkeit eines Katasters elektrischer und magnetischer Felder für den Immissionsschutz"* erfolgreich durchgeführt. Hierbei wurde untersucht, ob, wie und mit welchem Aufwand ein Emissions- und Im-

missionskataster elektromagnetischer Quellen realisierbar ist. Als Besonderheit wurden hier erstmals nieder- und hochfrequente Quellen in einer gemeinsamen Studie untersucht.

In 2002 wurde für das Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW die Studie *"Elektromagnetische Felder in NRW – Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunk Basisstationen"* abgeschlossen, die die Immissionen in der Nähe von Mobilfunk Basisstationen detailliert untersucht hat. Der Schwerpunkt der Studie lag in der messtechnischen Ermittlung der Immission an einer Vielzahl von unterschiedlichen Basisstations-Konfigurationen, wobei auch andere HF-Quellen (DECT, Rundfunk, TV, WLAN, andere Funkdienste) in den Messungen berücksichtigt wurden. Darüber hinaus wurden auch Fragen der Typisierbarkeit von Basisstationen näher untersucht. Mittels geeigneter Wellenausbreitungsmodelle wurde beschrieben, welche strukturellen Auswirkungen eine Absenkung der Grenzwerte (z.B. nach dem Schweizer Modell) auf das Mobilfunknetz hätte und wie die Gesamtmission dadurch beeinflusst wird. Diese Studie hat sich mittlerweile für die kommunalen und staatlichen Umweltbehörden als Referenzwerk etabliert.

Im Jahre 2002 wurde für das Bundesamt für Strahlenschutz mit den Arbeiten am Projekt StSch 4375 *"Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen"* begonnen. In diesem zweijährigen Projekt sollen sowohl das Potential von existierenden numerischen und messtechnischen Verfahren zur Ermittlung von Mobilfunk Immissionen ausgelotet werden, als auch geeignete neue Verfahren entwickelt werden.