

### **III. Analyse der Immissionsverteilung**

**Bearbeitungszeitraum  
1. Oktober 2005 – 30. Juni 2006**

## Kurzfassung

Es wurden Messungen der elektrischen Immissionsverteilung in der Umgebung von UMTS-Mobilfunkanlagen in insgesamt 11 unterschiedlichen Szenarien durchgeführt. Die Szenarien umfassen hoch und niedrig montierte Anlagen in städtischem und ländlichem Umfeld unter Berücksichtigung einer UHS-Station sowie Pikozellen- und Indoorversorgungen. Die Messungen wurden bei verschiedenen Abständen, Sichtbedingungen, Orientierungen und Höhenunterschieden zu den Anlagen durchgeführt und gestatten durch diese Systematik in gewissen Grenzen eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf ähnliche Szenarien.

Als Messverfahren wurde das codeselektive Messverfahren mit Schwenkmethode angewendet, das entsprechend den Anforderungen der 26. BImSchV eine Aussage über die Immission bei höchster betrieblicher Anlagenausstattung ermöglicht. Die solchermaßen ermittelten Immissionen an insgesamt 163 Messpunkten lassen sich wie folgt charakterisieren:

Innerhalb der Szenarien als auch beim Vergleich der Szenarien untereinander wurden sehr unterschiedliche Expositionswerte gefunden. Der überwiegende Teil der Messergebnisse lag bei weniger als einem Prozent vom Grenzwert, bezogen auf die elektrische Feldstärke. Maximal wurden etwa 8,4 % (entsprechend 5,1 V/m bzw. 69,3 mW/m<sup>2</sup>) gemessen; der kleinste Messwert betrug etwa 0,01 % (entsprechend 0,006 V/m bzw. 0,1 µW/m<sup>2</sup>). Die Spannweite der Exposition über alle Szenarien ist mit etwa 60 dB sehr groß. Die „aktuellen“, d.h. raum- und zeitgemittelten Immissionen beim derzeitigen Ausbauzustand der Anlagen sind je nach Szenario und Sichtbedingungen feldstärkebezogen um den Faktor 5 bis 8 kleiner als die oben angegebenen Werte.

Die Untersuchungen zeigen deutlich, dass aus der Größe der Versorgungszelle und der damit verbundenen Sendeleistung keinesfalls Rückschlüsse auf die entstehende Exposition gezogen werden können. Die größten Messwerte ergaben sich in kleinzelligen Szenarien, die zwar mit geringerer Sendeleistung als typische Dach- und Maststandorte betrieben werden (Indoorversorgungen: Szenarien 7 und 8), bei denen allerdings an Decken montierte Antennen eingesetzt werden, was einen geringen Abstand zu Aufenthaltsbereichen von Personen bewirkt. Ähnliches beobachtet man bei Zellen mit niedrig montierten Antennen (Szenarien 4 und 10).

Sind die Antennen im Vergleich zur Umgebung sehr hoch montiert, ergeben sich meist geringere Expositionswerte. Besonders auffällig ist dieser Effekt bei den UHS-Standorten (Szenario 6), die zwar eine sehr große Versorgungsfläche abdecken und dafür auch eine größere Summenleistung abstrahlen, im Rahmen dieser Untersuchung dennoch die niedrigsten Expositionswerte liefern. Vom Standpunkt der Immissionsminimierung aus gesehen sind also derartige Standortkonzepte durchaus zu begrüßen. Allerdings muss angemerkt werden, dass im Rahmen dieses Projektes keine Bewertung des UHS-Konzeptes bezüglich der Versorgungsgüte im Vergleich zu konventionellen Standortkonzepten durchgeführt wurde.

Ebenfalls vergleichsweise sehr niedrige Expositionswerte fanden sich im Inneren eines Gebäudes, auf dessen Dach Sendantennen montiert waren (Szenario 11). Hier wurde offensichtlich das vertikale Bündelungsverhalten der Antennen sowie die starke Dämpfungswirkung der Betondecken (Es handelte sich bei dem Gebäude um ein Parkhaus) wirksam. Eine grundsätzliche Verallgemeinerung dieses Ergebnisses auf alle Arten von Gebäuden sollte allerdings unterbleiben, da nicht alle Dächer gute Schirmdämpfungswerte besitzen

(stark abhängig vom Baumaterial und vorhandenen Öffnungen, wie z.B. Dachfenster oder Lichtschächte). Übertragbar erscheint uns allerdings das hier gefundene Ergebnis auf Hochhäuser mit Mobilfunkantennen auf dem Dach zumindest für alle Stockwerke außer dem obersten Geschoss, bei dem im Fall einer gut dämpfenden Deckenstruktur ebenfalls sehr niedrige Messwerte auftreten können (in der Größenordnung von ein Prozent des Feldstärke-Grenzwertes oder weniger), in anderen Fällen jedoch auch etwas höhere bis in den Bereich von etwa fünf bis zehn Prozent vom Grenzwert.

Bei der Untersuchung von Einflussfaktoren für die Größe der Immission hat sich herausgestellt, dass der *Abstand* im unmittelbaren Umfeld der Anlage (bis zu einigen hundert Meter, abhängig von Montagehöhe und Downtilt) in Outdoor-Szenarien offenbar als Maß zur Quantifizierung der entstehenden UMTS-Exposition wenig geeignet ist. Grund dafür ist, dass in diesem Entfernungsbereich die Immission sehr stark durch die Nebenzipfel und Einzüge des stark bündelnden vertikalen Antennendiagramms geprägt ist und daher einen sehr unregelmäßigen Charakter aufweist. Bei Gebäuden mit Indoorversorgung ist hingegen eher eine Tendenz zur stetigen Abnahme der Exposition mit dem Abstand zu beobachten, da hier das Antennendiagramm weniger stark gebündelt ist und geringere Unterschiede im Vertikalwinkel zwischen Antenne und Expositionsort auftreten.

Einen deutlichen Einfluss üben hingegen die Sichtverhältnisse aus: Objekte wie Gebäude, aber auch Bäume und Sträucher, bzw. Wände im Indoorbereich zwischen Messpunkt und Sendeanlage haben einen dämpfenden Einfluss, der sich erheblich in den Messergebnissen widerspiegelt. Die Immissionsreduzierung ist dabei abhängig von der Dämpfungswirkung des Objektes, aber auch von der Frage, inwieweit die Signale der Basisstation auch über Reflexionen z.B. an benachbarten Gebäuden oder Wänden zum Messpunkt gelangen können.

Der Einfluss des Vertikalwinkels konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht sehr deutlich herausgearbeitet werden, da die Anzahl und die Abstufung der Punkte dafür nicht ausreichend war. Bei Aussparung des Szenarios „Pikozelle“ ist jedoch deutlich zu erkennen, dass im hier betrachteten Entfernungsbereich an Messpunkten mit kleinem Vertikalwinkel (zwischen -6 und 10 Grad) im Mittel trotz größerer Entfernung höhere Messwerte auftreten, als an Punkten mit größerem Vertikalwinkel.

Parallel zu den UMTS-Immissionen wurden in 9 der 11 Szenarien auch die GSM-Immissionen an den Messpunkten mit erfasst. Für die Messungen wurden speziell solche Anlagen ausgewählt, bei denen neben einem UMTS-System auch ein GSM-System installiert war. Dadurch ist es möglich, die UMTS-Expositionssituation mit der GSM-Expositionssituation *an identischen Anlagen* zu vergleichen. Über alle Messpunkte gesehen ergibt sich eine deutliche Dominanz der GSM-Immissionen im Vergleich zu UMTS. Grenzwertbezogen dominieren an etwa 85 % der Messpunkte die durch GSM-Systeme hervorgerufenen Immissionen.

Bei der Fragestellung der Dominanz von GSM- oder UMTS-Immissionsanteilen an konkreten Messpunkten spielen mehrere Einflussfaktoren eine Rolle, die miteinander verbunden sind und nicht isoliert voneinander betrachtet werden dürfen. Zu diesen Faktoren gehören die installierte Sendeleistung und insbesondere auch die Orientierung zur Hauptstrahlrichtung der Antennen. Die gegenüber UMTS deutlich breitere Hauptkeule von GSM 900 führt dazu, dass im Umfeld von GSM 900-Anlagen wesentlich mehr Punkte in oder nahe der Haupt-

strahlrichtung liegen als bei UMTS und somit eine höhere Immission erfahren. Letztlich sorgt auch der niedrigere Grenzwert für GSM 900-Immissionen dafür, dass bei einer grenzwertbezogenen Betrachtung oftmals die Immissionen durch GSM 900 dominieren, wohingegen sich GSM 1800 und UMTS ähnlich verhalten.

Drei durchgeführte Langzeitmessungen über einen Zeitraum von mindestens 24 Stunden dokumentieren den zeitlichen Verlauf der Immission. Die größte Schwankungsbreite mit ca. 3,6 dB ergibt sich dabei durch die Bewegung von Personen im Umfeld der Messeinrichtung. Demgegenüber war die Schwankungsbreite an einer innerstädtischen Anlage, die zum Zeitpunkt der Übertragung von Spielen der Fußballweltmeisterschaft 2006 unter dem Hinblick einer zu erwartenden deutlichen Verkehrsauslastung gemessen wurde, mit ca. 2,1 dB geringer. Reproduzierbare Schwankungen im tageszeitlichen Verlauf traten zwar auf, der Einfluss von witterungsbedingten Schwankungen lässt sich aber nicht gänzlich ausschließen. Offensichtlich sind im Vergleich zu typischen tageszeitlichen Schwankungen bei GSM-Basisstationen bei einer Vielzahl von UMTS-Anlagen verkehrsbedingte Immissionsschwankungen derzeit nur wenig ausgeprägt. Dies liegt sicherlich einerseits daran, dass die UMTS-Netze derzeit noch nicht die Verkehrsmengen transportieren, wie die GSM-Netze. Andererseits ist zu beachten, dass bei GSM im Falle zunehmender Verkehrslast abrupt weitere Trägerfrequenzen zugeschaltet werden, was insgesamt zu einem sprunghafteren Zeitverlauf der Exposition führt, als bei UMTS, wo die Verbindungen alle auf einer Frequenz abgewickelt werden und die Leistungsveränderung pro Verbindung insgesamt moderater ausfällt. Durch diese Tatsache ist der gleichmäßigere Messwerteverlauf über der Zeit bei UMTS im Gegensatz zu GSM erklärbar. Die zeitlichen Immissionsvariationen an einer Anlage *ohne* Verkehr bzw. Personeneinfluss ist mit 1,6 dB am geringsten und unterstreicht, dass die Immission durch Signalisierungskanäle zeitlich nahezu konstant ist.

Zweidimensionale Scanmessungen zur Charakterisierung der kleinskaligen örtlichen Schwankungsbreite im Umfeld einer realen GSM 900- / UMTS-Anlage zeigen, dass entgegen der Erwartungen aufgrund der größeren spektralen Bandbreite bei UMTS keine deutliche Reduzierung der Schwankungsbreite des „fast fadings“ zu erkennen ist. Obwohl dieses Ergebnis unter Umständen durch die codeselektive Messtechnik beeinflusst sein kann, muss hieraus abgeleitet werden, dass der Schwenkvorgang bei der Messung von UMTS-Immissionen ebenso sorgfältig durchgeführt werden muss wie bei der Messung von GSM-Immissionen.

Bezüglich *Berechnungsverfahren* wurden für diese Studie verschiedene kommerzielle Softwarepakete im Hinblick auf ihre Eignung zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von UMTS-Funksendeanlagen untersucht. Der Begriff „Umgebung“ umfasst hierbei den Bereich außerhalb des Sicherheitsabstandes der Basisstation bis zum Rand des Versorgungsgebietes der entsprechenden Anlage.

Anhand eines Kataloges von verschiedenen praxisrelevanten Konfigurationen wurde ein Vergleich von berechneten Feldstärkewerten und entsprechend messtechnisch bestimmten Immissionen durchgeführt und somit die Eignung der jeweiligen Software untersucht. Hierbei

wurden verschiedene UMTS-Zelltypen, Indoor- und Outdoor-Szenarien, differierende Sichtbedingungen und unterschiedliche Abstände zur Basisstation berücksichtigt.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass in Situationen mit direkter Sicht zu Sendeantenne (LOS) alle Programme die Immission an der Mehrzahl der Vergleichsgebiete vor dem Hintergrund der Messunsicherheit gut prognostizieren. Dennoch sollten bei derartigen Konfigurationen aber folgende Aspekte berücksichtigt werden: Befinden sich z.B. Bäume in der Sichtverbindung, die in den Simulationen außer Acht gelassen wurden, überschätzen die Programme die Immission im Vergleich zur Messung. Die Größenordnung kann hierbei im Bereich von 6-10 dB liegen. Darüber hinaus sollten auch „schwebende“ Objekte, wie z.B. Fußgängerbrücken, in der Simulation berücksichtigt werden, da bei deren Vernachlässigung unter Umständen mit Unterschätzungen gerechnet werden muss. Ein Vergleich der Messresultate mit den Ergebnissen der Berechnungsmethode „Freiraum + 3 dB“ hat gezeigt, dass auch diese Methode für Konfigurationen mit direkter Sicht zur Anlage als geeignet angesehen werden kann.

Im Gegensatz dazu ist die Methode „Freiraum + 3 dB“ für Situationen ohne direkte Sicht zur Sendeanlage nicht geeignet, die realen Immissionen zu prognostizieren. In den betrachteten Szenarien traten hierbei Überschätzungen mit einer Schwankungsbreite von 10-60 dB auf. Die Einbeziehung von Gebäuden in die Simulation ist dementsprechend zwingend erforderlich. Bei dem Softwarepaket EFC-400 haben sich in den betrachteten Szenarien Gebäudedämpfungen von etwa 15 dB als geeignet erwiesen, die reale Immissionsituation widerspiegeln zu können. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass die Gebäudetransmissionen für die Immissionsverteilung in Outdoor-Szenarien eher eine untergeordnete Rolle spielen und somit in einer Simulation nicht notwendigerweise Berücksichtigung finden müssen. Dennoch kann es unter Umständen, wie z.B. bei Gebäuden aus gering dämpfenden Materialien, zu einer Unterschätzung der Immission im Vergleich zur Messung kommen.

Da es aufgrund der Anzahl von Gebäuden im gesamten Versorgungsgebiet einer UMTS-Zelle viel zu aufwändig wäre, diese alle durch einzelne Wände inklusive Innenwände zu modellieren und somit auch Immissionswerte innerhalb von Gebäuden prognostizieren zu können, wurde untersucht, in wie weit unter Berücksichtigung eines geeignet gewählten Reduktionsfaktors die berechneten Immissionswerte außerhalb eines Gebäudes die Immission innerhalb eines Gebäudes widerspiegeln können. Hierbei hat sich gezeigt, dass derartige Abschlagswerte einer großen Schwankungsbreite unterliegen. Da diese darüber hinaus stark abhängig von der Sichtverbindung und den verwendeten Materialien ist, wird ein solcher allgemeingültiger Faktor immer mit einer großen Unsicherheit behaftet sein.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung .....</b>	<b>2</b>
<b>III.1 Einleitung .....</b>	<b>8</b>
<b>III.2 Messung der Immission in unterschiedlichen Szenarien..</b>	<b>8</b>
III.2.0 Vorgehensweise.....	8
III.2.1 Exposition in der Umgebung von niedrig montierten Antennen im ländlichen Umfeld .....	11
III.2.2 Maststandort im ländlichen Umfeld .....	17
III.2.3 Gewerbegebiet .....	21
III.2.4 Niedrig montierte Antenne im städtischen Umfeld.....	27
III.2.5 Hoch montierte Antenne im städtischen Umfeld .....	33
III.2.5.1 <i>Entfernungsabhängigkeit</i> .....	33
III.2.5.2 <i>Höhenschichtung</i> .....	36
III.2.5.3 <i>Innerstädtische Anlage mit mehreren Betreibern</i> .....	41
III.2.6 Umgebung eines „Ultra High Site“ (UHS) Standortes .....	48
III.2.7 UMTS-Indoorversorgung.....	56
III.2.8 UMTS-Exposition in einem Fußballstadion .....	64
III.2.9 Messehalle.....	67
III.2.10 Pikozone .....	70
III.2.11 Messungen in einem Gebäude, auf dessen Dach UMTS-Antennen installiert sind.....	73
<b>III.3 Untersuchung von Einflussfaktoren für die Größe der Immission.....</b>	<b>79</b>
III.3.1 Allgemeine Eigenschaften der Messergebnisse .....	82
III.3.2 Lateraler Abstand des Messpunktes zur Sendeanlage .....	84
III.3.3 Einfluss des Vertikalwinkels.....	86
III.3.4 Einfluss der Sichtverhältnisse.....	88
III.3.5 Fazit.....	89
<b>III.4 Vergleich von UMTS- und GSM-Immissionen an kombinierten Anlagen.....</b>	<b>90</b>

<b>III.4.1</b>	<b>Ergebnisse des Vergleichs an den unterschiedlichen Szenarien ...</b>	<b>90</b>
<b>III.4.2</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse .....</b>	<b>93</b>
<b>III.5</b>	<b>Weitere Charakteristika von UMTS-Immissionen.....</b>	<b>97</b>
<b>III.5.1</b>	<b>Zeitlicher Verlauf der Immission .....</b>	<b>97</b>
<b>III.5.2</b>	<b>Kleinskalige örtliche Schwankungsbreite.....</b>	<b>103</b>
<b>III.6</b>	<b>Vergleich der Messungen mit Berechnungen .....</b>	<b>108</b>
<b>III.6.1</b>	<b>Eingabeparameter .....</b>	<b>109</b>
<b>III.6.2</b>	<b>Darstellung der Simulationsergebnisse .....</b>	<b>110</b>
<b>III.6.3</b>	<b>Konfiguration 1: Gewerbegebiet .....</b>	<b>111</b>
<b>III.6.4</b>	<b>Konfiguration 2: Pikozone (outdoor).....</b>	<b>119</b>
<b>III.6.5</b>	<b>Konfiguration 3: Pikozone (indoor).....</b>	<b>124</b>
<b>III.6.6</b>	<b>Konfiguration 4: Immissionsverteilung auf einem von Häusern umringten Platz.....</b>	<b>130</b>
<b>III.6.7</b>	<b>Konfiguration 5: Stadtgebiet .....</b>	<b>136</b>
<b>III.6.8</b>	<b>Konfiguration 6: Immissionsverteilung innerhalb eines Gebäudes</b>	<b>142</b>
<b>III.6.9</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>149</b>
<b>III.6.10</b>	<b>Beurteilung der Softwarepakete .....</b>	<b>150</b>
	<b>Danksagung .....</b>	<b>152</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>153</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>154</b>

## III.1 Einleitung

Im dritten Berichtsteil vorliegenden Untersuchungsvorhabens wird die Immissionsverteilung in der Umgebung von UMTS-Mobilfunkanlagen eingehend analysiert. Dazu werden die Ergebnisse umfangreicher Messungen an insgesamt 11 unterschiedlichen, für UMTS-Netze typischen Zellen vorgestellt. Die Auswahl der Messpunkte erfolgt dabei nach systematischen Gesichtspunkten, d.h. sie weisen verschiedene Abstände, Orientierungen, Höhenunterschiede, Sichtverbindungen usw. zur Sendeanlage auf. Aus den Ergebnissen wird die Spannbreite der praktisch auftretenden Immissionen bestimmt.

Anschließend wird anhand der Messergebnisse der Einfluss verschiedener immissionsbestimmender Faktoren auf die Größe der Exposition untersucht.

Parallel zu den UMTS-Immissionen werden in 9 der 11 Szenarien auch GSM-Immissionen an den ausgewählten Messpunkten mit erfasst. Für die Messungen wurden speziell solche Anlagen ausgewählt, bei denen neben einem UMTS-System auch ein GSM-System installiert war. Dadurch ist es möglich, die UMTS-Expositionssituation mit der GSM-Expositionssituation *an identischen Anlagen* zu vergleichen.

Weitere Messungen charakterisieren sowohl den zeitlichen Verlauf der Immission über einen Zeitraum von 24 Stunden, als auch die kleinskalige örtliche Schwankungsbreite in Innenräumen. Hierbei wird überprüft, ob die theoretisch zu erwartende Abschwächung des „fast fading“ durch den Breitbandcharakter von UMTS-Signalen bei einer Messung mit der Schwenkmethode zu einer Vereinfachung des Schwenkvorganges führt. Parallel erfolgt der Vergleich mit GSM 900-Immissionen am identischen Standort.

Abschließend erfolgt eine Anwendung der im zweiten Berichtsteil vorgestellten Berechnungsverfahren auf ausgewählte Teile der messtechnisch untersuchten Szenarien. Mittels eines Vergleiches mit den Messergebnissen wird die Eignung der Berechnungsprogramme auf Problemstellungen der vorliegenden Art bewertet.

## III.2 Messung der Immission in unterschiedlichen Szenarien

### III.2.0 Vorgehensweise

In vorliegendem Kapitel werden die Ergebnisse umfangreicher Messungen an verschiedenen UMTS-Stationen vorgestellt. Die Auswahl der Messpunkte erfolgt dabei nach systematischen Gesichtspunkten, d.h. sie weisen verschiedene Abstände, Orientierungen, Höhenunterschiede, Sichtverbindungen usw. zur Sendeanlage auf. Anhand von Immissionsmessungen entlang einer Linie oder in verschiedenen Stockwerken eines Gebäudes wird es möglich, die grundsätzliche Entfernungs- bzw. Höhenabhängigkeit der Immission analysieren zu können. Durch diesen systematischen Ansatz wird in gewissen Grenzen eine Übertragbarkeit der ermittelten Immissionen auf ähnliche Szenarien ermöglicht.



Auch bei den untersuchten Anlagenkonfigurationen wurde Wert auf eine möglichst breite Vielfalt unterschiedlicher Szenarien gelegt: Die Messungen erfolgten an insgesamt 11 unterschiedlichen, für UMTS-Netze typischen Zellen. Die untersuchten Szenarien sind:

1. Niedrig montierte Station im ländlichen Umfeld
2. Hoch montierte Station im ländlichen Umfeld = frei stehender Mast
3. Station in einem Gewerbegebiet
4. Niedrig montierte Station im städtischen Umfeld
5. Hoch montierte Station im städtischen Umfeld
6. UHS-Station (Ultra High Site)
7. Station zur Indoor-Versorgung
8. Station zur Versorgung eines Fußballstadions
9. Station zur Versorgung einer Messehalle
10. Station zur Versorgung einer Pikozeile
11. Station auf einem Gebäudedach und Ermittlung der Immission im Gebäude

Als Messverfahren wird das im vorangegangenen Berichtsteil als favorisiertes Verfahren abgeleitete codeselektive Messverfahren mit Schwenkmethode und Hochrechnung auf die höchste betriebliche Anlagenauslastung angewendet. Alle Messwerte werden als

- Elektrische Feldstärke in V/m,
- Elektrische Feldstärke in Prozent vom Grenzwert der 26. BImSchV und
- Elektrische Leistungsflussdichte in  $\mu\text{W}/\text{m}^2$

für den maximalen Betriebszustand der Anlage angegeben. Dieser Wert gibt die Immission an, die von den UMTS-Anlagen nach Realisierung des durch die Bundesnetzagentur genehmigten *maximalen* Ausbaustands (in der Regel werden 2 UMTS-Kanäle für die Betriebsart FDD beantragt) maximal am Messpunkt erzeugt werden kann. Sie tritt dann auf, wenn die betreffende Anlage mit der beantragten Kanalzahl aufgebaut ist, die für den Maximalausbau größtmögliche Gesprächszahl bzw. Datenmenge abgewickelt wird und alle Teilnehmer mit maximal möglicher Sendeleistung versorgt werden.

Aus dieser Immission bei Maximalausbau kann auf die *Immission bei aktuellem Ausbaustand* geschlossen werden: Sie gibt die Immission an, die von der UMTS-Anlage beim derzeitigen Ausbaustand (in der Regel 1 UMTS-Kanal je Betreiber) maximal am Messpunkt erzeugt werden kann und tritt auf, wenn von der Anlage die für den aktuellen Ausbaustand größtmögliche Gesprächszahl bzw. Datenmenge abgewickelt wird und alle Teilnehmer mit maximal möglicher Sendeleistung versorgt werden. Die Immission bei aktuel-

lem Ausbauzustand erhält man, wenn man den Immissionswert bei Maximalausbau leistungsbezogen durch den Faktor 2 teilt (bzw. feldstärkebezogen durch den Faktor 1,4). Eine Ausnahme bilden hierbei einige Stationen des Betreibers O<sub>2</sub>, bei denen derzeit eine Dreisektoranlage mit nur einer Basisstation über einen Powersplitter versorgt wird. In diesem Fall beträgt der Faktor leistungsbezogen 7,2 bzw. feldstärkebezogen 2,7 (Faktor 3 durch eine Basisstation pro Sektor mal Faktor 2 durch zweiten Frequenzkanal plus Verluste im Splitter).

Die *minimale Immission* ergibt sich, wenn von der betreffenden Station kein Gesprächs- bzw. Datenverkehr abgewickelt wird und nur die permanent vorhandenen Signalisierungssignale abgestrahlt werden. Nach den Untersuchungen im zweiten Berichtsteil beträgt die minimale Immission je nach Betreiber leistungsbezogen etwa zwischen 14 % und 17 % der Immission beim aktuellen Ausbauzustand. Eine UMTS-Anlage ohne Verkehrslast erzeugt also eine Immission, die leistungsbezogen um den Faktor 12-14 kleiner ist als die hier dokumentierte maximale Immission. Die Differenz zwischen der so definierten minimalen Immission und maximalen Immission gibt die Spannbreite der möglichen Immissionen an.

Bei dieser Betrachtung muss ferner berücksichtigt werden, dass beim angewendeten Messverfahren neben der zeitlichen Maximierung auch eine örtliche Maximierung der Immissionen in einem Raumvolumen durch die Schwenkmethode erfolgt. Zur Beurteilung der Größe von örtlichen und zeitlichen Mittelwerten (z.B. im Rahmen von epidemiologischen Studien zur Erfassung einer „realen“ Immission) wurden im zweiten Berichtsteil ausführliche Untersuchungen vorgestellt. Hierbei haben sich leistungsbezogene Unterschiedsfaktoren zwischen 25 und 60 (entspricht feldstärkebezogen etwa 5 bis 8) zwischen „realen“ raum- und zeitgemittelten Werten und der maximalen Immission ergeben. Diese sind bei der Abschätzung der „realen“ Immission aus den hier dokumentierten Maximalwerten zu berücksichtigen.

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Anlagen wurden solche bevorzugt, bei denen neben einem UMTS-System auch ein GSM-System installiert war. Dadurch ist es möglich, die UMTS-Expositionssituation mit der GSM-Expositionssituation *an identischen Anlagen* zu vergleichen. Die GSM-Exposition wurde entsprechend der Messempfehlung aus [BOR 05] (frequenzselektive Messung der BCCH-Kanäle, Hochrechnung auf den maximalen Betriebszustand der Anlage) mit gemessen und ist in den nachfolgenden Auswertungen dokumentiert. Zu Übersichtszwecken wird in den Grafiken eine *grenzwertbezogene Summenexposition (GSM+UMTS)* angegeben. Diese wird in Übereinstimmung mit [LAI 04] (Absatz III.3.2.2.6.2, 2. Aufzählungspunkt) sowie [FEE 04] als Quadratwurzel aus den quadratisch summierten Grenzwertausschöpfungen (%GW) der GSM- und UMTS-Immissionen gebildet:

$$E_{\text{gesamt}} [\%GW] = \sqrt{(E_{\text{GSM}} [\%GW])^2 + (E_{\text{UMTS}} [\%GW])^2} \quad (\text{III.2.1})$$

Wo relevant, wurde gleichfalls auch die Immission durch benachbarte UMTS-Anlagen mit erfasst. Hierbei ist jedoch die begrenzte relative Dynamik der codeselektiven Messgeräte von etwa 20 dB zu berücksichtigen, d.h. Signale mit der gleichen Trägerfrequenz (d.h. des gleichen Betreibers), die mehr als 20 dB unter dem stärksten Signal liegen, werden häufig nicht mehr zuverlässig erfasst.

### III.2.1 Exposition in der Umgebung von niedrig montierten Antennen im ländlichen Umfeld

Bei der hier untersuchten Anlage handelt es sich um einen Standort, an dem die GSM 900- und UMTS-Signale eines Betreibers über Dualbandantennen gemeinsam abgestrahlt werden. Er befindet sich am Rand eines kleinen Gewerbegebietes im ländlichen Umfeld in Nordbayern. Die Antennen sind auf dem Dach eines Firmengebäudes in etwa 15 Meter Höhe über Grund montiert. Da die nähere Umgebung des Standortes nahezu eben ist und aufgrund der dort vorhandenen Wiesen und Felder gute Zugangsmöglichkeiten herrschen, wurde hier die Immissionsverteilung entlang zweier radial vom Standort weg verlaufender Linien ausgemessen. Eine Messlinie lag genau in horizontaler Hauptstrahlrichtung einer Antenne, während die zweite genau zwischen zwei Sektorantennen gelegt wurde.

Die nähere Umgebung des Standortes, die horizontale Ausrichtung der Sendeantennen, sowie die Lage der beiden Messstrecken sind in folgendem Bild dargestellt.

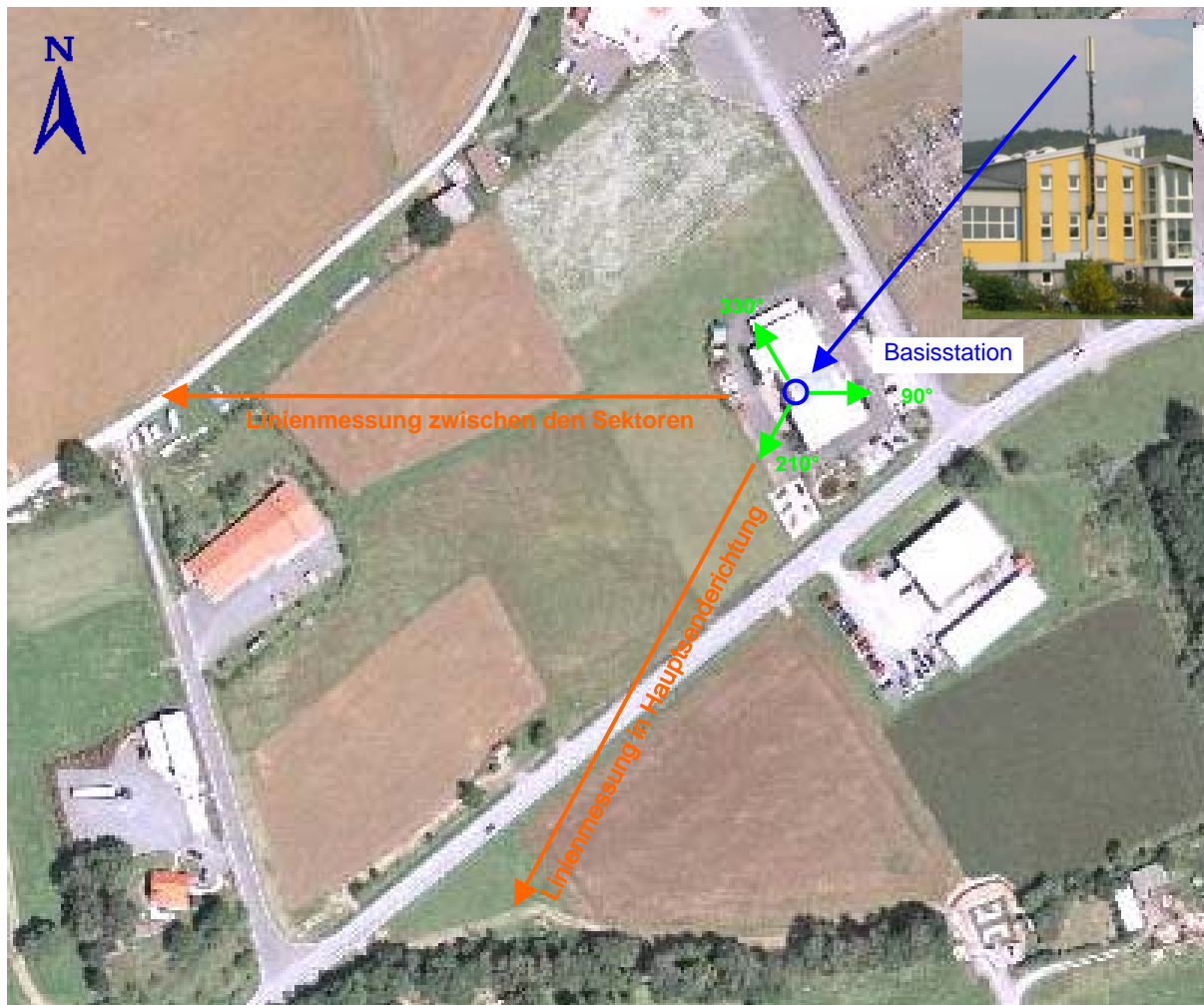


Bild III.2.1: Szenario 1: Lageplan mit Anlagenstandort und den beiden Messlinien

Mittels dieser Messungen soll exemplarisch untersucht werden, wie sich die Expositionswerte mit dem Abstand zur Basisstation verändern.



Bild III.2.2: Szenario 1: "Linienmessungen" (orange Pfeile) zwischen den Sektoren bzw. in Hauptsenderichtung einer Sektorantenne der Basisstation (blaue Markierung)

Alle Messpunkte befanden sich im Freien in Bodennähe mit Sichtverbindung zu den Mobilfunkantennen und sind in folgender Tabelle genauer charakterisiert:

Punkt Nr.	Messorte	Lateraldistanz zum Antennenstandort
1.1 bis 1.9	"Linienmessung" an 9 Messpunkten in Richtung 210° in Hauptsenderichtung einer Sektorantenne	35 m bis 200 m
1.10 bis 1.22	"Linienmessung" an 13 Messpunkten in Richtung 270° zwischen den Hauptsenderichtungen 210° und 330° zweier Sektorantennen	35 m bis 200 m

Tabelle III.2.1: Szenario 1: Messpunkte der "Linienmessungen"

Messentfernungen kleiner 35 Meter waren nicht möglich, da in diesem Fall keine Sichtverbindung zu den Antennen vorgelegen hätte. Die Messungen wurden bei trockenem Wetter durchgeführt. In folgender Tabelle ist zunächst nur die UMTS-Exposition für die neun Punkte der "Linienmessung" in Hauptsenderichtung einer Sektorantenne angegeben. Die Immission durch die GSM-Signale vom Standort wird anschließend in einer zweiten Tabelle dargestellt. UMTS-Signale von weiter entfernten Nachbarstandorten waren an den Messpunkten nicht nachweisbar.

Punkt Nr.	Lateralentfernung zum Antennenstandort	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
1.1	200 m	0,36	0,58	336,3
1.2	175 m	0,26	0,42	173,1
1.3	150 m	0,22	0,36	130,6
1.4	135 m	0,43	0,70	483,3
1.5	115 m	0,69	1,13	1.258,7
1.6	95 m	0,77	1,26	1.576,9
1.7	75 m	0,92	1,51	2.265,1
1.8	55 m	1,27	2,08	4.255,1
1.9	35 m	0,78	1,27	1.593,4

Tabelle III.2.2: Szenario 1: UMTS-Exposition in Hauptsenderichtung

Punkt Nr.	Lateralentfernung zum Antennenstandort	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (42 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
1.1	200 m	1,79	4,20	8.488,2
1.2	175 m	1,81	4,26	8.717,6
1.3	150 m	2,05	4,81	11.116,1
1.4	135 m	2,13	5,01	12.047,8
1.5	115 m	2,52	5,91	16.796,5
1.6	95 m	1,32	3,09	4.597,9
1.7	75 m	1,70	3,99	7.631,9
1.8	55 m	2,44	5,74	15.840,6
1.9	35 m	1,94	4,57	10.006,4

Tabelle III.2.3: Szenario 1: GSM-Exposition in Hauptsenderichtung

An allen Messpunkten dominieren die Immissionen, die durch die von den Antennen abgestrahlten GSM 900-Signale verursacht werden. Im Mittel erzeugt GSM 900 an den neun Punkten etwa 11 dB höhere Immissionen als UMTS. Ein Grund dafür ist die Tatsache, dass von diesem Standort die GSM-Signale mit etwa fünfmal höherer Maximalleistung abgestrahlt werden, als die UMTS-Signale. Außerdem sind die Antennendiagramme der verwendeten Dualbandantennen für GSM 900 und UMTS unterschiedlich.

In folgendem Bild sind die Resultate aus den obigen beiden Tabellen visualisiert. Zusätzlich zu den grenzwertbezogenen GSM- und UMTS-Immissionen ist auch eine Gesamtimmission aus beiden dargestellt; diese wurde als Quadratwurzel der quadratisch summierten grenzwertbezogenen GSM- und UMTS-Immissionen gebildet (Formel III.2.1).

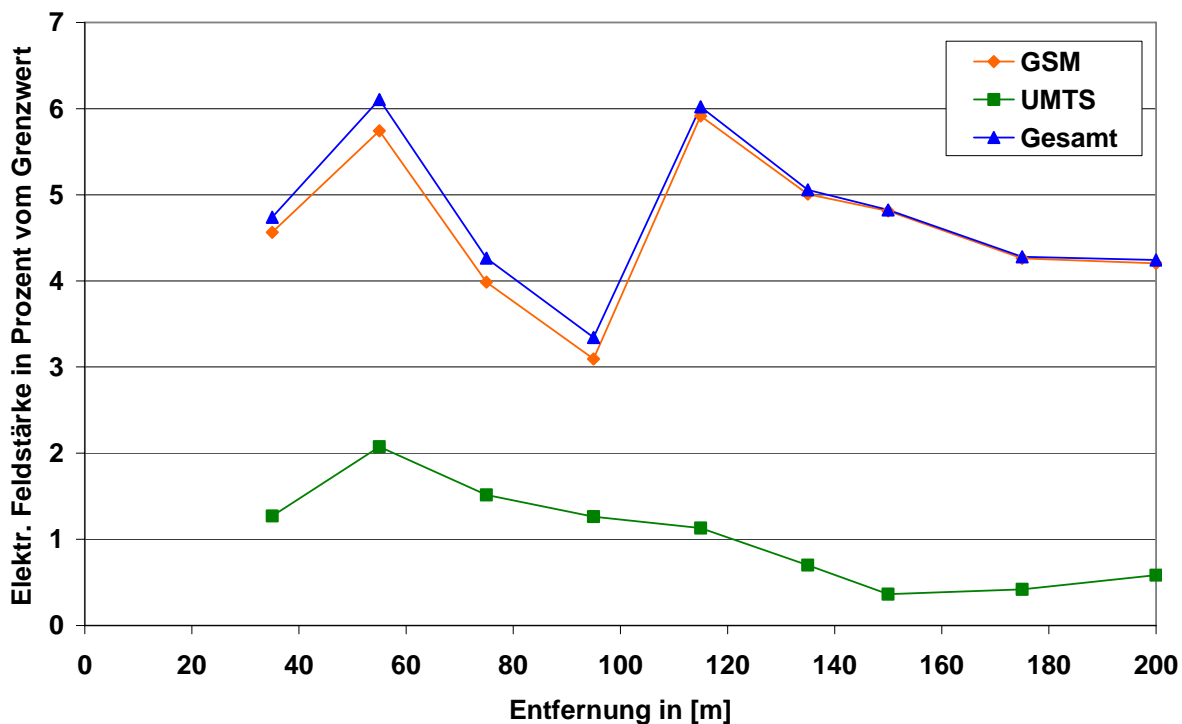


Bild III.2.3: Szenario 1: Grafische Darstellung der gemessenen Expositionswerte der "Linienmessung" in Hauptsenderichtung

Sowohl die UMTS- wie auch die GSM 900-Signale haben ein Maximum in einem Bereich mit etwa 50 bis 60 Meter Abstand zum Antennenstandort, das auf Nebenkeulen der Antennen zurückzuführen ist. Aufgrund der besseren Bündelungsfähigkeit der UMTS- gegenüber der GSM-Antenne und einem eingestellten Downtilt von 0° für beide Systeme nimmt die Intensität des UMTS-Signals über die Entfernung nach diesem Maximum im wesentlichen stetig ab, während bei GSM ein zweites Maximum bei etwa 120 m Entfernung auftritt. Hier gelangt man in den Bereich der Hauptkeule der GSM-Antenne.

In folgender Tabelle ist wiederum zunächst nur die UMTS-Exposition für die 13 Punkte der "Linienmessung" *zwischen* den horizontalen Hauptsenderichtungen zweier Sektorantennen angegeben. Die Immission durch die GSM-Signale vom Standort wird anschließend in einer zweiten Tabelle dargestellt.

Punkt Nr.	Lateralentfernung zum Antennenstandort	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
1.10	200 m	0,30	0,49	239,2
1.11	175 m	0,26	0,43	181,9
1.12	150 m	0,23	0,38	145,5
1.13	125 m	0,25	0,41	166,1
1.14	115 m	0,51	0,84	695,7
1.15	105 m	0,46	0,76	572,7
1.16	95 m	0,53	0,87	741,8
1.17	85 m	0,63	1,03	1.039,7
1.18	75 m	0,49	0,81	641,1
1.19	65 m	0,48	0,79	621,6
1.20	55 m	0,65	1,07	1.130,2
1.21	45 m	0,59	0,96	916,8
1.22	35 m	0,59	0,97	933,9

Tabelle III.2.4: Szenario 1: UMTS-Exposition zwischen zwei Hauptsenderrichtungen

Punkt Nr.	Lateralentfernung zum Antennenstandort	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (42 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
1.10	200 m	1,02	2,39	2.733,9
1.11	175 m	1,19	2,80	3.745,6
1.12	150 m	1,02	2,40	2.754,8
1.13	125 m	1,16	2,74	3.589,3
1.14	115 m	1,06	2,49	2.972,4
1.15	105 m	1,39	3,29	5.161,4
1.16	95 m	1,28	3,01	4.330,9
1.17	85 m	1,06	2,51	3.000,4

Punkt Nr.	Lateralentfernung zum Antennenstandort	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (42 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
1.18	75 m	0,93	2,18	2.273,3
1.19	65 m	0,76	1,78	1.521,0
1.20	55 m	1,03	2,43	2.824,8
1.21	45 m	1,32	3,12	4.654,9
1.22	35 m	1,78	4,21	8.431,4

Tabelle III.2.5: Szenario 1: GSM-Exposition zwischen zwei Hauptsenderrichtungen

Analog zur eben betrachteten "Linienmessung" in *horizontaler Hauptsenderichtung* dominieren an allen Messpunkten wieder die Immissionen der GSM 900-Signale, aufgrund der höheren Sendeleistung des GSM-Systems und der unterschiedlichen Antennendiagramme (mittlerer Unterschiedsfaktor: 8 dB).

In folgendem Bild sind die Resultate aus den obigen beiden Tabellen grafisch dargestellt. Zusätzlich zu den grenzwertbezogenen GSM- und UMTS-Immissionen ist auch eine Gesamtimmision aus beiden dargestellt, die nach Formel III.2.1 gebildet wurde.

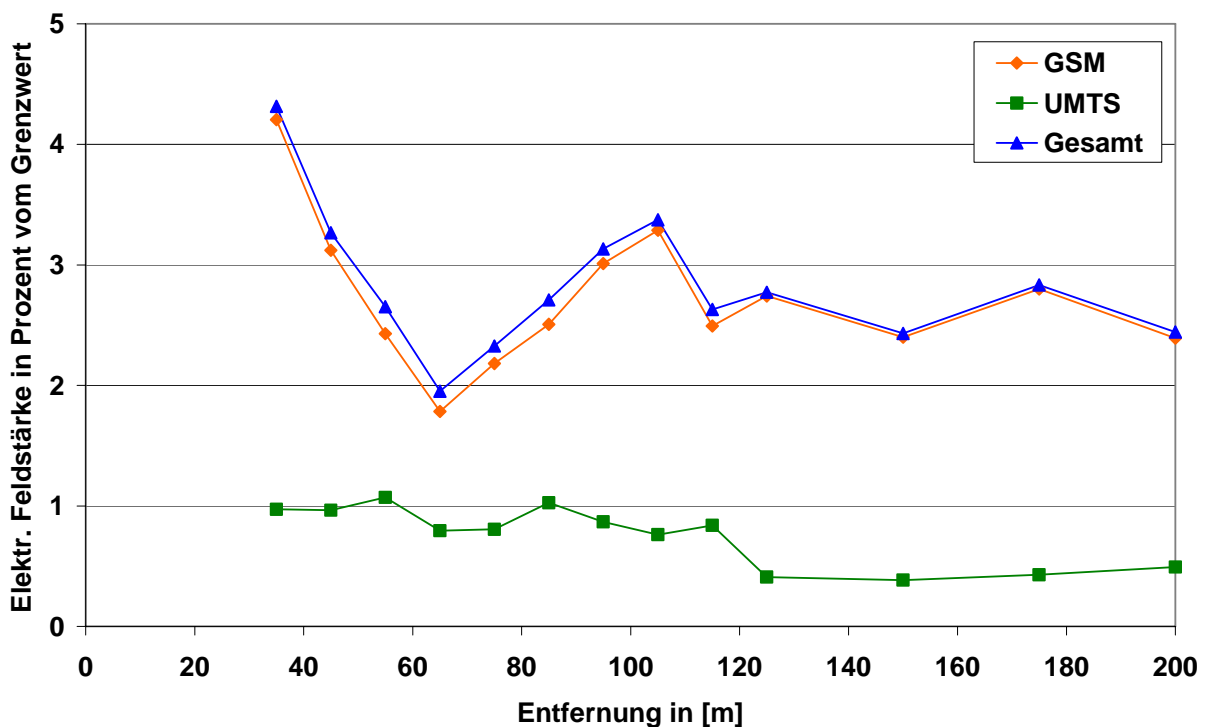


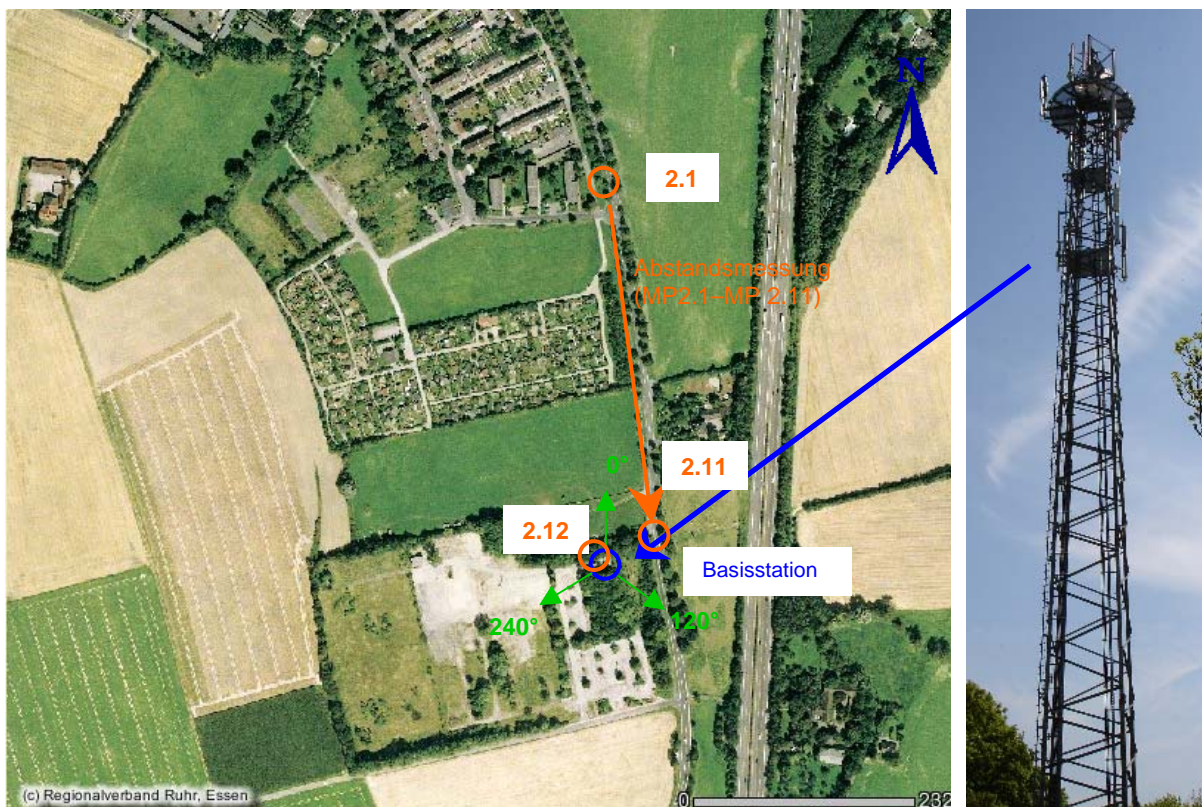
Bild III.2.4: Szenario 1: Grafische Darstellung der gemessenen Expositionswerte der "Linienmessung" zwischen zwei Hauptsenderrichtungen



Es lassen sich hier ähnliche Effekte erkennen wie bei der "Linienmessung" in Hauptsenderichtung, wenn auch auf einem niedrigeren Wertenniveau aufgrund der Lage der Messpunkte zwischen den Sektoren (im Mittel etwa 4,5 dB niedrigere Immissionen als auf der Linie in horizontaler Hauptsenderichtung). Bei den UMTS-Signalen befindet sich die Maximalexposition in einem Bereich von 35 bis etwa 120 Meter verursacht durch Nebenkeulen der Antenne. Danach nehmen die Immissionen ab und verändern sich über eine längere Strecke nur unwesentlich. Die Intensität der GSM-Signale verhält sich ähnlich wie in der Hauptsenderichtung, jedoch ist das zweite Maximum bei etwa 110 Meter etwas schwächer ausgeprägt.

### III.2.2 Maststandort im ländlichen Umfeld

Als hoch montierte Anlageninstallation im ländlichen Umfeld wurde für vorliegende Untersuchungen ein freistehender Mast ausgewählt. Er befindet sich in Moers-Kapellen in direkter Nähe zur Autobahn A57. Auf dem Mast sind Mobilfunksysteme von drei Betreibern vertreten, wobei zwei Betreiber derzeit nur GSM in Betrieb haben. Der dritte Betreiber hat sowohl GSM 900, als auch UMTS installiert. Die Immissionen dieses Betreibers werden im Folgenden näher untersucht. An diesem Standort wurde als „Linienmessung“ wiederum ein Entfernungsprofil der Immission aufgezeichnet. Die GSM 900- bzw. UMTS-Antennen sind in Azimutrichtung gleich ausgerichtet und in 30,0 (UMTS) bzw. 31,6 (GSM 900) Meter Höhe über dem Boden montiert (jeweils Unterkante der Antennen). Alle Messpunkte liegen ebenerdig auf derselben Höhe und haben freie Sicht zur Sendeanlage. Der Messpunkt 2.12 liegt direkt am Mast unterhalb der Antennen.



Quelle: <http://www.kvr.de>

Bild III.2.5: Szenario 2: Lageplan mit Anlagenstandort und Messpunktverteilung



Bild III.2.6: Szenario 2: Blick vom Messpunkt 2.1 (links) bzw. 2.12 (rechts) auf die Anlage

Punkt Nr.	Messort	Horizontaldistanz zum Antennenstandort
2.1-2.11	„Linienmessung“ an 11 Messpunkten entlang der Luiters Straße	400 m (MP 2.1) bis 65 m (MP 2.11)
2.12	Direkt am Mast unterhalb der Antennen	10 m

Tabelle III.2.6: Szenario 2: Messpunkte der „Linienmessung“

Die Messungen wurden bei sonnigem und trockenem Wetter durchgeführt. In folgender Tabelle ist zunächst nur die UMTS-Immission für die 12 Punkte angegeben. Die Immission durch die GSM-Signale vom Standort wird anschließend in einer zweiten Tabelle dargestellt.

Punkt Nr.	Lateralentfernung zum Antennenstandort	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
2.1	400 m	0,75	1,22	1481,0
2.2	371 m	0,48	0,78	603,3
2.3	335 m	0,28	0,45	201,9
2.4	300 m	0,43	0,70	488,4
2.5	265 m	0,41	0,68	455,2
2.6	230 m	0,80	1,32	1.711,6
2.7	190 m	0,88	1,45	2.075,1
2.8	155 m	0,38	0,62	384,6
2.9	117 m	0,25	0,41	165,8
2.10	90 m	0,17	0,28	79,8
2.11	65 m	0,25	0,41	168,6
2.12	10 m	0,56	0,91	820,3

Tabelle III.2.7: Szenario 2: UMTS-Exposition

Punkt Nr.	Lateralentfernung zum Antennenstandort	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (42 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
2.1	400 m	0,53	1,26	753,3
2.2	371 m	0,35	0,84	333,6
2.3	335 m	0,44	1,04	512,1
2.4	300 m	0,48	1,14	617,8
2.5	265 m	0,45	1,07	546,7
2.6	230 m	0,82	1,95	1.803,9
2.7	190 m	0,74	1,74	1.434,7
2.8	155 m	0,63	1,49	1.049,4
2.9	117 m	0,45	1,06	533,8

Punkt Nr.	Lateralentfernung zum Antennenstandort	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (42 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
2.10	90 m	0,33	0,78	288,5
2.11	65 m	0,70	1,66	1.299
2.12	10 m m	0,43	1,01	483,0

Tabelle III.2.8: Szenario 2: GSM-Exposition

An allen Messpunkten dominieren grenzwertbezogen die GSM-Immissionen. Vergleicht man die Absolutwerte (d.h. nicht grenzwertbezogen), dann überwiegen an 8 der 12 Messpunkte die GSM-Immissionen. Der mittlere Unterschiedsfaktor beträgt etwa 2 dB. Der Unterschied ist mit darauf zurückzuführen, dass beim GSM-System etwa die doppelte Sendeleistung installiert ist wie beim UMTS-System. Der eingestellte Downtilt war bei den GSM- und UMTS-Antennen identisch.

In folgendem Bild sind die Resultate aus den obigen beiden Tabellen visualisiert. Zusätzlich zu den grenzwertbezogenen GSM- und UMTS-Immissionen ist auch eine Gesamtimmission aus beiden dargestellt, die nach Formel III.2.1 gebildet wurde.

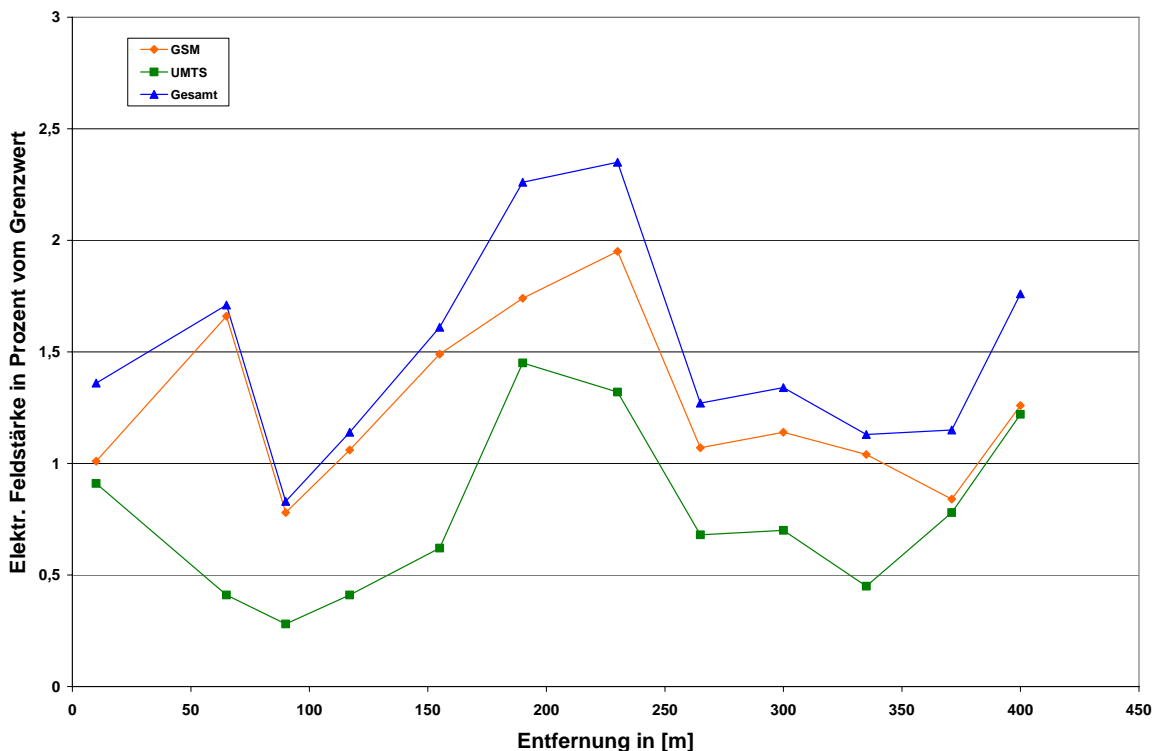


Bild III.2.7: Szenario 2: Grafische Darstellung der gefundenen Expositionswerte

Aus der Grafik ist zu erkennen, dass die Immissionen bei größerem Abstand von der Anlage nicht stetig abnehmen, sondern sich unregelmäßig verhalten. Bezüglich GSM 900 ergibt sich ein ähnlicher Verlauf wie bei der Linienmessung in Hauptstrahlrichtung von Szenario 1. Bei

ca. 60 Meter ist ein lokales Maximum zu erkennen, das vermutlich in einer Nebenkeule begründet ist. Anders als bei Szenario 1 liegen die globalen Maxima von GSM 900 und UMTS in einem vergleichbaren Entfernungsbereich. Interessanterweise ist bei den am weitesten vom Mast entfernten Messpunkten (371 und 400 Meter) das grenzwertbezogene Verhältnis von GSM und UMTS-Immissionen nahezu gleich (hier dominieren absolut gesehen sogar die UMTS-Immissionen), wohingegen bei den anderen Entfernungen (mit Ausnahme des Messpunktes direkt am Mast) der Abstand zwischen GSM- und UMTS-Immissionen größer ist. Direkt am Mast werden nicht die höchsten Immissionen der Messreihe ermittelt; diese treten bei ca. 200-250 Meter auf; offensichtlich gelangt man hier in den Bereich der Hauptstrahlrichtung. Das geringfügige Ansteigen der Immission bei 400 Meter kann durch Reflexionen an den nahe stehenden Gebäuden begründet sein.

Die UMTS-Immission wird von der untersuchten Anlage auf dem Mast dominiert; Immissionen durch umliegende UMTS-Anlagen waren um etwa 30 dB geringer.

### III.2.3 Gewerbegebiet

Die Messungen zum Szenario „Gewerbegebiet“ wurden an einer Anlage im Gewerbegebiet Dieprahm in Kamp-Lintfort durchgeführt. Auf einem Gewerbegebäude ist in ca. 17-21 Meter Höhe je ein dreisektoriges GSM 900- und UMTS-Antennensystem montiert (die ebenfalls auf nachfolgendem Bild zu sehende 3. Antennengruppe, GSM 1800, ist derzeit nicht in Betrieb).

Die nähere Umgebung des Standortes, die horizontale Ausrichtung der Sendeantennen, sowie die Lage der Messpunkte sind in folgendem Bild dargestellt.

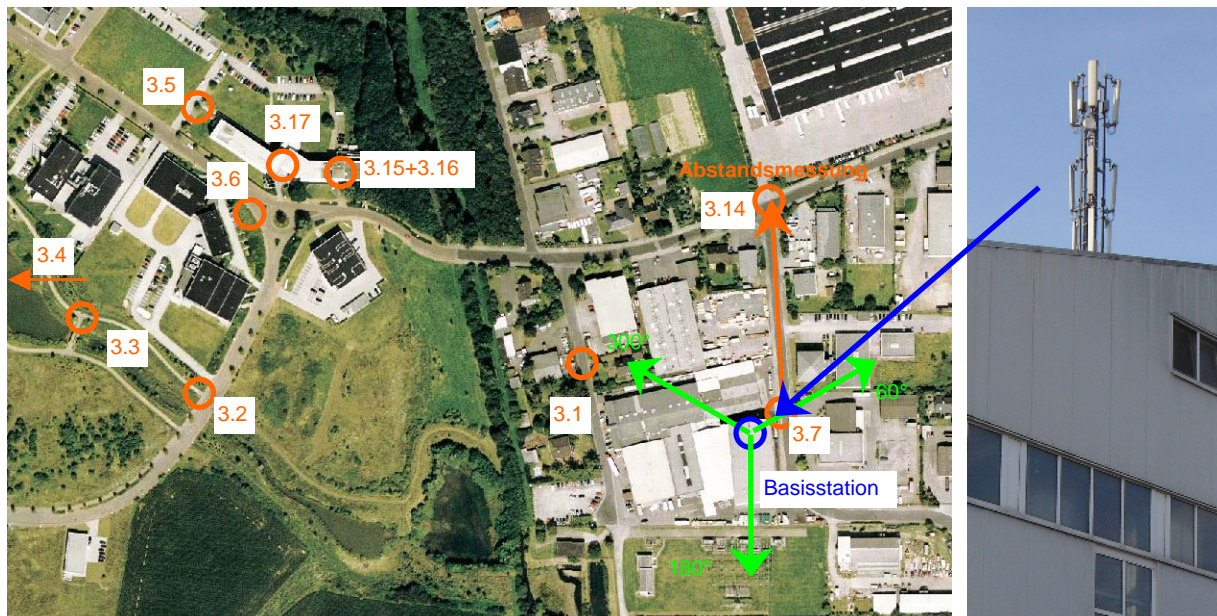


Bild III.2.8: Szenario 3: Lageplan mit Anlagenstandort und Messpunktverteilung

Für dieses Szenario wurden sowohl Außen-Messungen mit und ohne direkte Sicht bei verschiedenen Orientierungen und Entfernungen (MP 3.1 bis 3.6), systematische Messungen zur Untersuchung der Entfernungsabhängigkeit (MP 3.7 bis 3.14) und Indoor-Messungen (MP 3.15 bis 3.17) durchgeführt. Zwei Beispiele für die ausgewählten Messpunkte sind in Bild III.2.9 dargestellt.



Bild III.2.9: Szenario 3: Blick vom Messpunkt 3.10 (links) zur Anlage; MP 3.17 (rechts)

Nachfolgende Tabelle beschreibt die Lage der Messpunkte.

Punkt Nr.	Messort	Sicht	Horizontaldistanz zum Antennenstandort
3.1	Straße „Zum Niepmannshof“	ja	119 m
3.2	C.-Fr.-Gauß-Straße, Einmündung Fußweg Kanal	Bäume	382 m
3.3	Fußweg Kanal an der Brücke	ja	469 m
3.4	westliches Ende Gewerbegebiet	nein	766 m
3.5	C.-Fr.-Gauß-Straße 2 (IMST), Parkplätzeinfahrt	nein	445 m
3.6	Carl-Friedrich-Gauß-Straße, Kreisverkehr	nein	372 m
3.7	Robert-Bosch-Straße, 39 m von Anlage entfernt	ja	39 m
3.8	Robert-Bosch-Straße, 50 m von Anlage entfernt	ja	50 m
3.9	Robert-Bosch-Straße, 63 m von Anlage entfernt	ja	63 m
3.10	Robert-Bosch-Straße, 81 m von Anlage entfernt	ja	81 m
3.11	Robert-Bosch-Straße, 92 m von Anlage entfernt	ja	92 m
3.12	Robert-Bosch-Straße, 115 m von Anlage entfernt	ja	115 m
3.13	Robert-Bosch-Straße, 132 m von Anlage entfernt	ja	132 m
3.14	Robert-Bosch-Straße, 150 m von Anlage entfernt	ja	150 m

<b>Punkt Nr.</b>	<b>Messort</b>	<b>Sicht</b>	<b>Horizontaldistanz zum Antennenstandort</b>
3.15	IMST, Raum 031, Fenster geschlossen	Bäume	350 m
3.16	IMST, Raum 031, Fenster geöffnet	Bäume	350 m
3.17	IMST, Foyer Erdgeschoss	ja	380 m

Tabelle III.2.9: Szenario 3: Messpunkte

Die Messungen wurden bei sonnigem Wetter durchgeführt. In folgender Tabelle ist zunächst nur die UMTS-Immission für die 17 Punkte angegeben. Die Immission durch die GSM-Signale vom Standort wird anschließend in einer zweiten Tabelle dargestellt.

<b>Punkt Nr.</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in V/m</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV</b>	<b>Leistungsflussdichte S in <math>\mu\text{W}/\text{m}^2</math></b>
3.1	0,41	0,67	447,9
3.2	0,42	0,68	461,4
3.3	0,30	0,49	241,2
3.4	0,04	0,06	3,4
3.5	0,04	0,06	3,4
3.6	0,20	0,34	111,4
3.7	0,15	0,25	62,0
3.8	0,52	0,86	725,5
3.9	0,53	0,88	757,2
3.10	0,63	1,04	1.058,9
3.11	0,61	1,01	1.003,1
3.12	0,33	0,54	289,1
3.13	0,31	0,50	247,7
3.14	0,45	0,73	533,2
3.15	0,17	0,28	78,4
3.16	0,23	0,38	140,2
3.17	0,03	0,04	1,9

Tabelle III.2.10: Szenario 3: UMTS-Exposition

Punkt Nr.	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (42 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
3.1	1,07	2,54	3.023,4
3.2	0,43	1,02	489,2
3.3	0,55	1,30	797,1
3.4	0,07	0,17	13,7
3.5	0,07	0,16	12,1
3.6	0,22	0,53	131,6
3.7	0,62	1,48	1.032,3
3.8	0,44	1,05	521,7
3.9	0,88	2,09	2.059,0
3.10	0,83	1,99	1.848,7
3.11	1,11	2,65	3.295,4
3.12	1,08	2,56	3.083,4
3.13	1,07	2,55	3.046,1
3.14	1,11	2,64	3.270,3
3.15	0,23	0,56	145,8
3.16	0,38	0,90	382,4
3.17	0,02	0,06	1,6

Tabelle III.2.11: Szenario 3: GSM-Exposition

In folgendem Bild sind die Resultate aus den obigen beiden Tabellen visualisiert. Zusätzlich zu den grenzwertbezogenen GSM- und UMTS-Immissionen ist auch eine Gesamtmission aus beiden dargestellt, die nach Formel III.2.1 gebildet wurde. An allen Messpunkten dominieren grenzwertbezogen die GSM-Immissionen. Absolut gesehen sind an 15 der 17 Messpunkte die GSM-Immissionen höher. Der mittlere Unterschiedsfaktor zwischen GSM- und UMTS-Immissionen beträgt ca. 5 dB. Beim GSM-System ist etwa 1,8 dB mehr Sendeleistung installiert. Das bedeutet, dass die Differenz in den Immissionsbeiträgen zum größten Teil durch die veränderten Abstrahlcharakteristiken der installierten GSM 900- und UMTS-Antennen begründet ist.



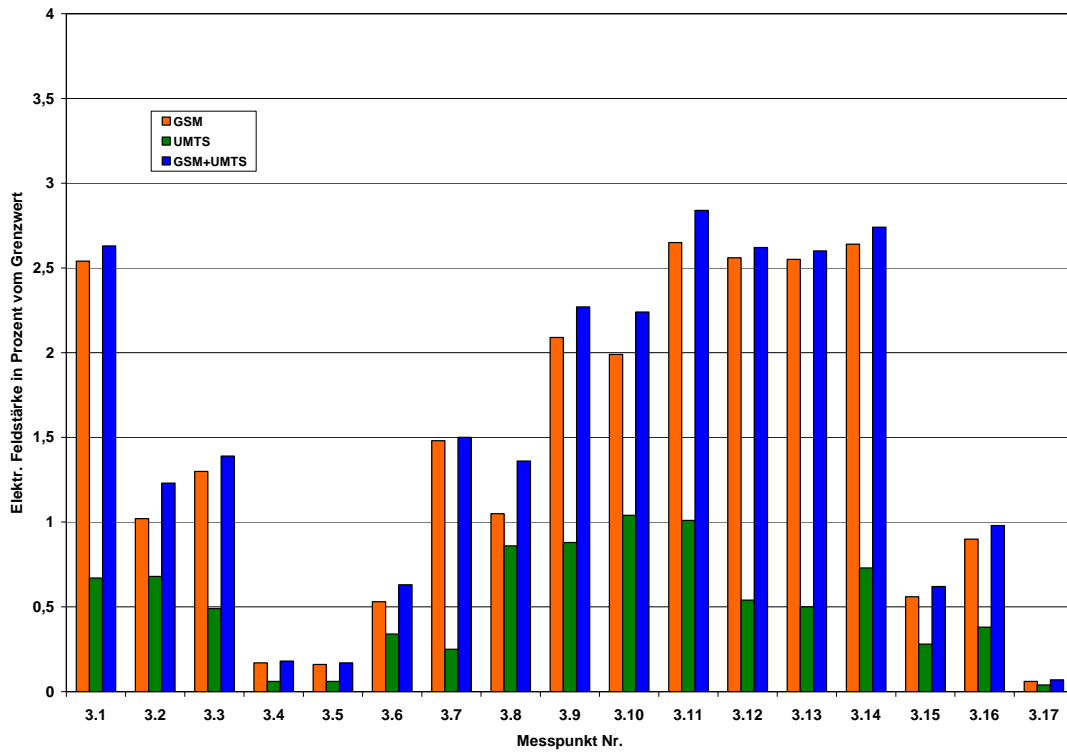


Bild III.2.10: Szenario 3: Grafische Darstellung der gemessenen Expositionswerte

In Bild III.2.11 sind speziell die Ergebnisse der „Linienmessungen“ zur Untersuchung der Entfernungsabhängigkeit (MP 3.7-3.14, alle mit direkter Sicht zur Anlage) dargestellt.

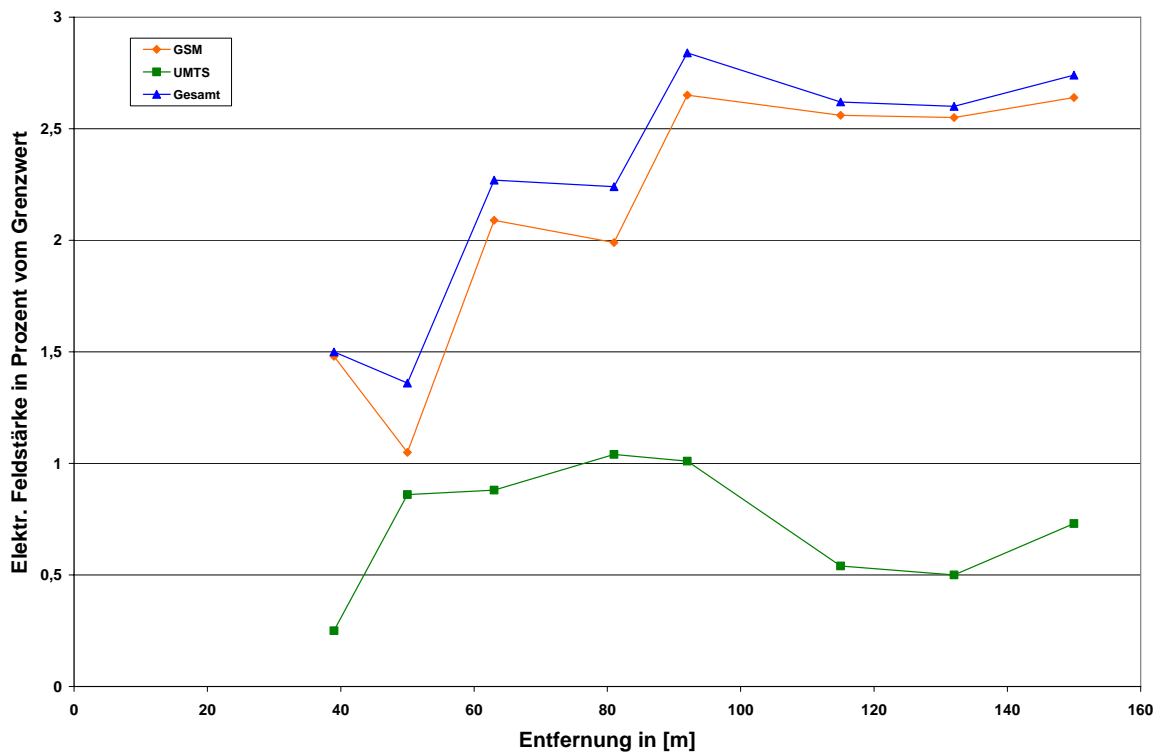


Bild III.2.11: Szenario 3: Abstandsabhängigkeit der Messpunkte 3.7 bis 3.14

Wie schon in den beiden vorangegangenen Szenarien ist für die MP 3.7-3.14 zu erkennen, dass die Immissionen bei größerem Abstand von der Anlage nicht stetig abnehmen. Für GSM befinden sich die Messpunkte ab ca. 100 Meter in der vertikalen Hauptstrahlrichtung. Das Abstandsverhalten bei UMTS ist von der Form her anders als bei GSM. Die MP 3.2 bis 3.6, die sich in wesentlich größerem Abstand zur Anlage befinden, weisen vor allem bezüglich GSM 900 eine deutlich geringere Immission auf. Hier macht sich neben unterschiedlichen Sichtbedingungen (3.4 bis 3.6 haben keine direkte Sicht) die entfernungsabhängige Immissionsabnahme ab denjenigen Entfernungen bemerkbar, bei denen der Hauptstrahl den Erdboden erreicht hat. Die Indoor-Messpunkte (3.15 bis 3.17) weisen ebenfalls vergleichsweise geringe Immissionen auf, was durch dämpfende Wirkungen von Baumaterial und wie im Fall von 3.15 und 3.17 auch Thermofensterglas begründet ist.

Zusätzlich wurde zum Vergleich noch ermittelt, welche Immissionen durch benachbarte UMTS-Sendeanlagen an den 17 Messpunkten erzeugt werden (hier wurden nur Anlagen desselben Betreibers wie der der Sendeanlage am Standort betrachtet).

<b>Punkt Nr.</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in V/m</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV</b>	<b>Leistungsflussdichte S in <math>\mu\text{W}/\text{m}^2</math></b>
3.1	-*	-*	-*
3.2	0,03	0,05	2,6
3.3	0,05	0,08	6,4
3.4	0,04	0,07	5,3
3.5	0,05	0,09	7,6
3.6	0,06	0,1	9,0
3.7	0,01	0,02	0,5
3.8	-*	-*	-*
3.9	0,04	0,06	3,4
3.10	0,02	0,03	0,8
3.11	-*	-*	-*
3.12	-*	-*	-*
3.13	0,04	0,07	5,3
3.14	-*	-*	-*
3.15	-*	-*	-*
3.16	-*	-*	-*
3.17	0,009	0,01	0,2

Tabelle III.2.12: Szenario 3: UMTS-Exposition durch Nachbarstandorte (\*: unter der Nachweisgrenze)

Der Immissionsvergleich zwischen betrachtetem Standort und den Anlagen in weiterer Entfernung ist im folgenden Bild grafisch dargestellt:

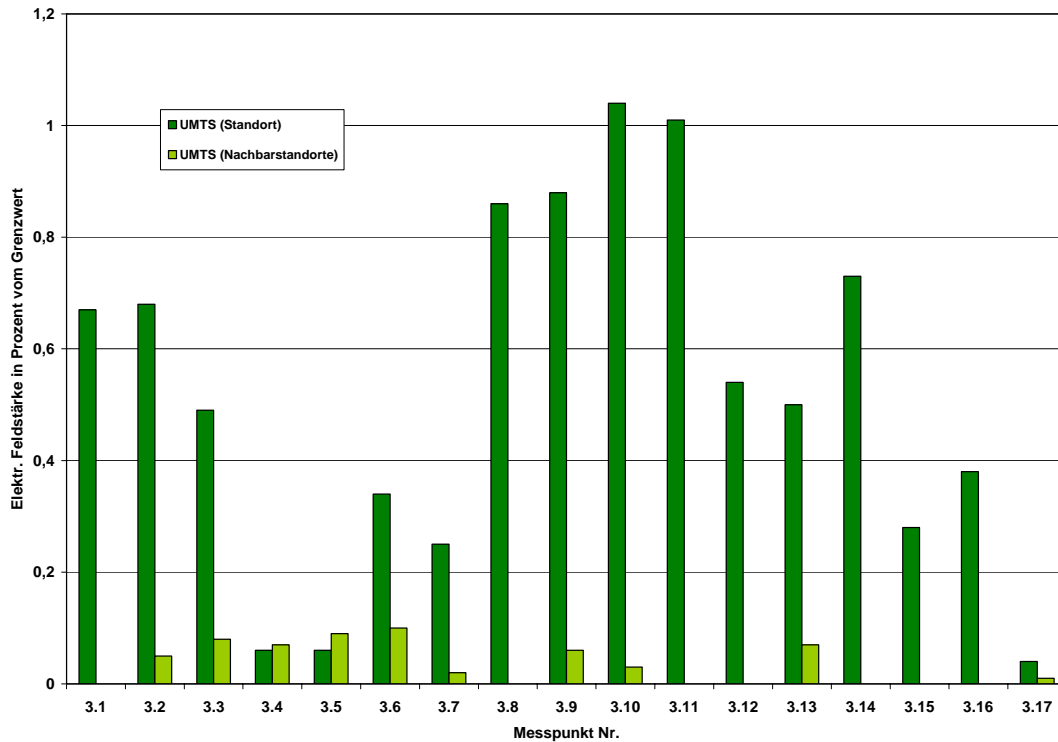


Bild III.2.12: Szenario 3: Vergleich der UMTS-Immissionen zwischen untersuchtem Standort und Nachbarstandorten

Bis auf die MP 3.4 und 3.5 dominieren an allen Messpunkten die Immissionen durch die UMTS-Anlage am Standort. Die MP 3.4 bzw. 3.5 sind mit 766 bzw. 445 Meter sehr weit von der untersuchten Sendeanlage entfernt bzw. ohne direkte Sicht zu dieser und befinden sich damit offensichtlich schon im Versorgungsbereich einer benachbarten UMTS-Mobilfunkanlage.

### III.2.4 Niedrig montierte Antenne im städtischen Umfeld

Bei der hier untersuchten Anlage handelt es sich um einen Standort, an dem die GSM- und UMTS-Signale eines Betreibers über Dualbandantennen abgestrahlt werden. Er befindet sich im Innenstadtbereich von Kulmbach, einer Kleinstadt in Nordbayern. Die Antennen sind auf dem Dach eines Parkhauses in etwa 17 Meter Höhe über Grund montiert. Die nähere Umgebung des Standortes, die horizontale Ausrichtung der Sendeantennen sowie die Lage der Messpunkte sind in folgendem Bild dargestellt.



Bild III.2.13: Szenario 4: Lageplan mit Anlagenstandort und Messpunktverteilung

Für die Größe der Immissionen in der Umgebung dieses Standortes ist folgende topografische Besonderheit von Bedeutung: Der dicht bebaute Innenstadtbereich nördlich des Parkhauses ist eben und befindet sich auf gleichem Höhenniveau wie das Parkhaus selbst. Südlich bzw. südwestlich des Parkhauses hingegen steigt das Gelände stark an, so dass die dort befindlichen Gebäude zum Teil auf gleicher Höhe wie die Mobilfunkantennen liegen (siehe Messpunktfotos in Bild III.2.14).

Aus diesem Grund wurden hauptsächlich Messungen im Bereich mit geringem Höhenunterschied zu den Antennen durchgeführt, um exemplarisch zu zeigen, mit welchen Immissionswerten gerechnet werden muss, wenn Mobilfunkantennen mit wenig Höhendifferenz zu Wohnbereichen positioniert sind. Nur die Punkte 4.6 und 4.8 liegen im Tal und dienen als Vergleich zu den Punkten am Hang.

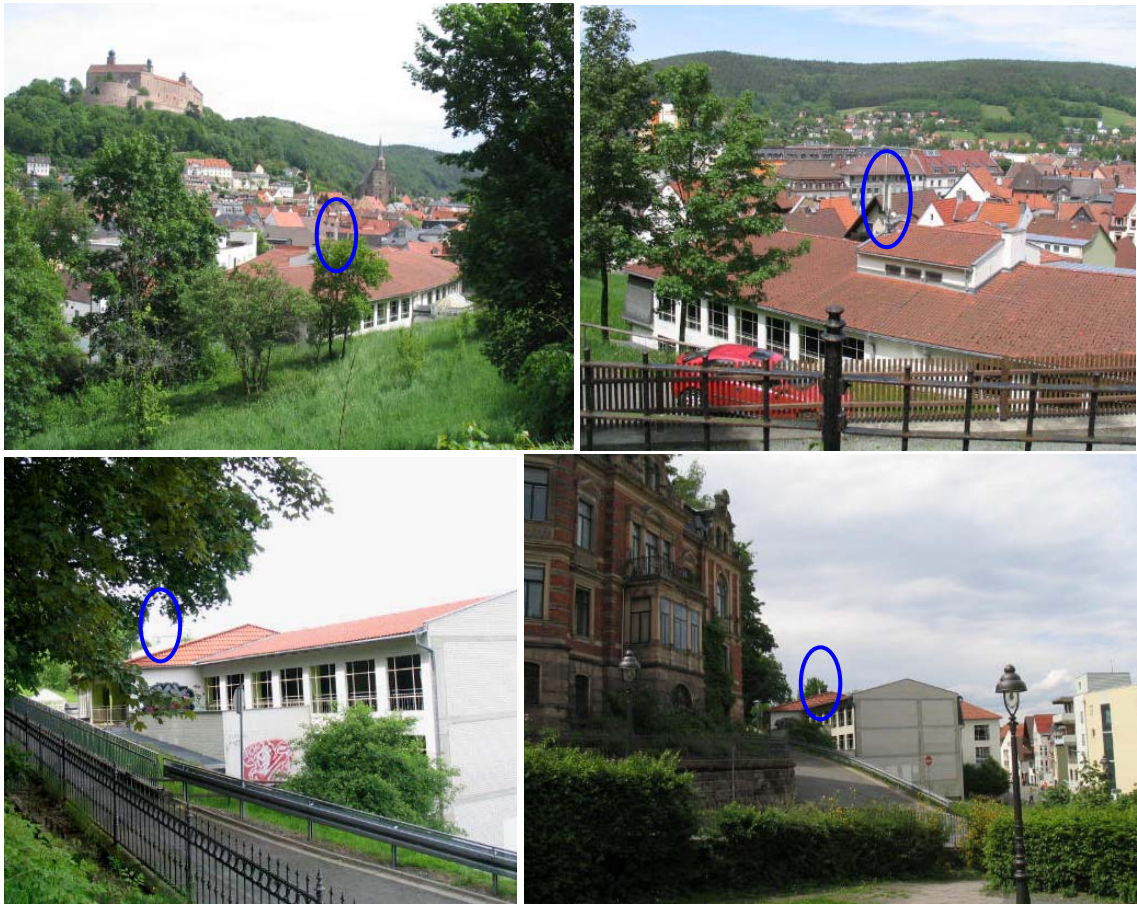


Bild III.2.14: Szenario 4: Blick von den Messpunkten 4.1 (oben links), 4.3 (oben rechts), 4.5 (unten links) und 4.6 (unten rechts) zu den Antennen der Basisstation (blaue Markierung) auf dem Dach des Parkhauses

Die acht untersuchten Messpunkte befanden sich alle im Freien in Bodennähe mit Sichtverbindung zu den Mobilfunkantennen und sind in folgender Tabelle detailliert charakterisiert:

Punkt Nr.	Messort	Horizontaldistanz zum Antennenstandort
4.1	Straßenrand Karl-Jung-Str. (Gegenüber Hs. Nr. 7)	77 m
4.2	Einfahrt Parkplatz (zwischen Hs. Nr. 5 und 3a)	53 m
4.3	Gastwirtschaft "Bergschlösschen", Karl-Jung-Str. 3 (Terrasse)	43 m
4.4	Vor Gastwirtschaft "Bergschlösschen", Karl-Jung-Str. 3 (EG)	36 m
4.5	Wohnhaus, Schießgraben 23 (Garten Höhe 2. OG)	79 m
4.6	Spielplatz, Schießgraben (Freifläche)	130 m
4.7	Wiese, Basteigasse (Freifläche, möglicher Bauplatz)	53 m
4.8	Weg Basteigasse (südlich Hs. Nr. 12)	105 m

Tabelle III.2.13: Szenario 4: Messpunkte

Die Messungen wurden bei trockenem Wetter durchgeführt. In folgender Tabelle ist zunächst nur die UMTS-Immission für die acht Punkte angegeben. Die Immission durch die GSM-Signale vom Standort wird anschließend in einer zweiten Tabelle dargestellt.

<b>Punkt Nr.</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in V/m</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV</b>	<b>Leistungsflussdichte S in <math>\mu\text{W}/\text{m}^2</math></b>
4.1	0,72	1,18	1.381,5
4.2	0,69	1,13	1.253,8
4.3	0,64	1,05	1.090,1
4.4	2,19	3,60	12.765,7
4.5	0,88	1,44	2.041,3
4.6	0,90	1,47	2.141,4
4.7	4,46	7,31	52.806,7
4.8	0,32	0,53	280,1

Tabelle III.2.14: Szenario 4: UMTS-Exposition

<b>Punkt Nr.</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in V/m</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (42 V/m) nach 26. BImSchV</b>	<b>Leistungsflussdichte S in <math>\mu\text{W}/\text{m}^2</math></b>
4.1	2,67	6,30	18.922,1
4.2	1,90	4,49	9.621,0
4.3	1,75	4,14	8.136,5
4.4	2,82	6,65	21.029,2
4.5	2,37	5,59	14.844,3
4.6	1,12	2,65	3.351,5
4.7	5,43	12,81	78.297,8
4.8	1,31	3,10	4.581,3

Tabelle III.2.15: Szenario 4: GSM-Exposition

An allen Messpunkten dominieren die Immissionen, verursacht durch die von den Antennen abgestrahlten GSM-Signale. Im Mittel erzeugt GSM an den acht Punkten etwa 7 dB höhere Immissionen als UMTS. Ein Grund dafür ist die Tatsache, dass von diesem Standort die GSM-Signale mit etwa doppelt so großer Maximalleistung abgestrahlt werden wie die UMTS-

Signale. Außerdem sind die Antennendiagramme der verwendeten Dualbandantennen für GSM und UMTS unterschiedlich.

In folgendem Bild sind die Resultate aus den obigen beiden Tabellen visualisiert. Zusätzlich zu den grenzwertbezogenen GSM- und UMTS-Immissionen ist auch eine Gesamtimmission aus beiden dargestellt, die nach Formel III.2.1 gebildet wurde.

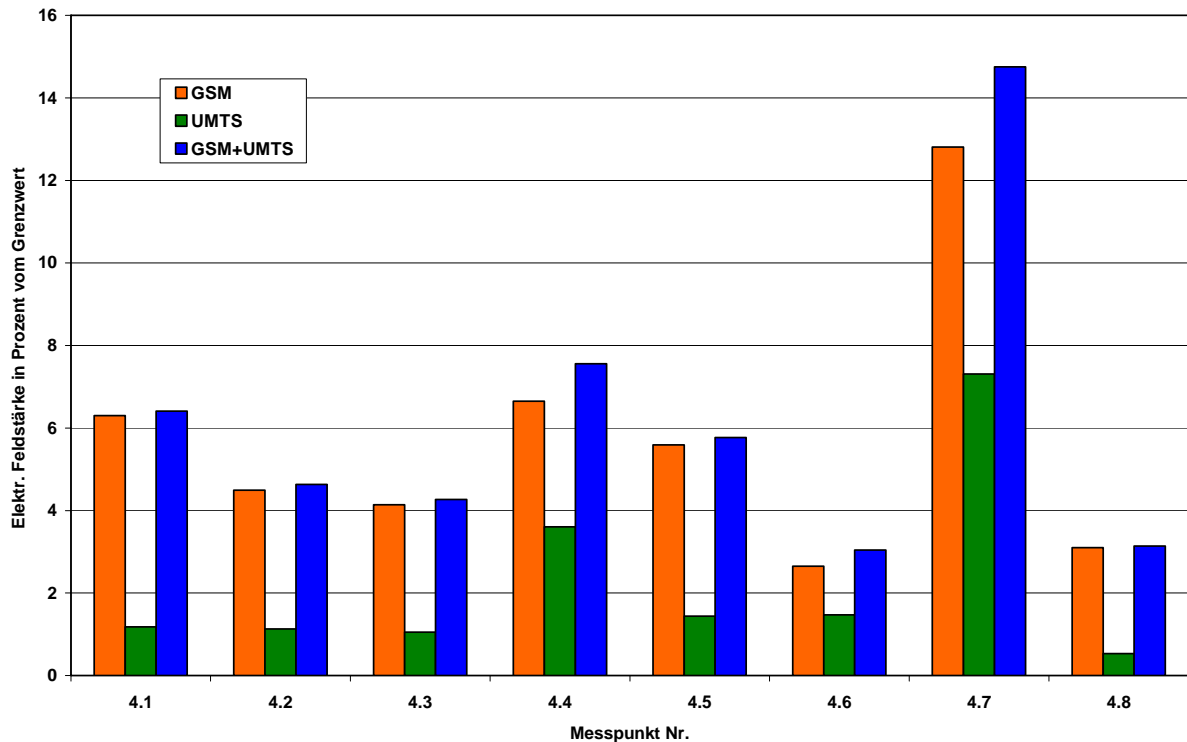


Bild III.2.15: Szenario 4: Grafische Darstellung der gemessenen Expositionswerte

Deutlich zu erkennen ist, dass an den beiden Punkten im Tal (Punkte 4.6 und 4.8) geringere Immissionen gefunden wurden als an den Punkten am Hang, obwohl sich diese beiden Punkten in der horizontalen Hauptstrahlrichtung der Antennen befinden.

Zusätzlich wurde zum Vergleich noch ermittelt, welche Immissionen durch benachbarte UMTS-Sendeanlagen aller vier Netzbetreiber an den acht Messpunkten erzeugt werden. Diese Anlagen sind etwa 400 bis 1.000 Meter vom hier betrachteten Standort entfernt. Von einigen Messpunkten aus bestand Sichtverbindung zu den Nachbarstandorten.

Punkt Nr.	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
4.1	0,32	0,52	270,7
4.2	0,12	0,20	37,9
4.3	0,17	0,28	79,4
4.4	0,08	0,12	15,1
4.5	0,03	0,05	2,8
4.6	0,03	0,04	1,9
4.7	0,06	0,10	10,2
4.8	0,02	0,03	0,8

Tabelle III.2.16: Szenario 4: UMTS-Exposition, verursacht durch Nachbarstandorte

Der Immissionsvergleich zwischen betrachtetem Standort und den Anlagen in weiterer Entfernung ist im folgenden Bild grafisch dargestellt:

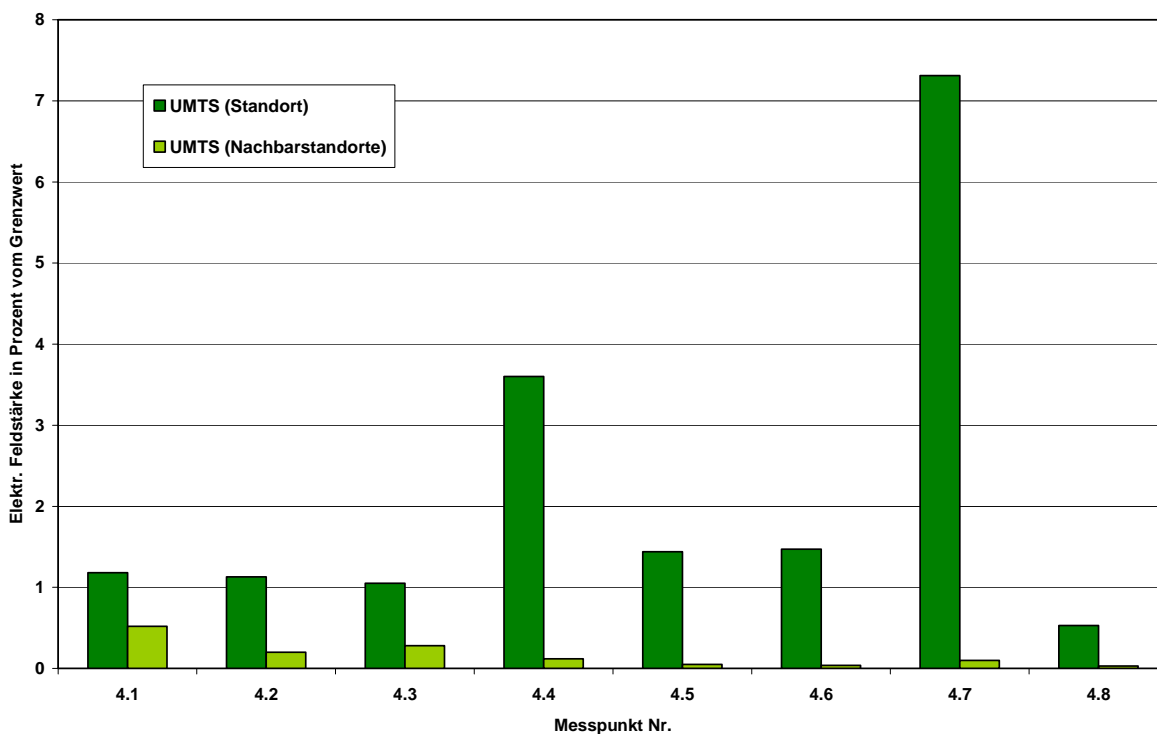


Bild III.2.16: Szenario 4: Vergleich der UMTS-Immissionen zwischen untersuchtem Standort und Nachbarstandorten

Es dominieren an allen Punkten deutlich die UMTS-Immissionen, verursacht durch den in der Nähe befindlichen Standort. Im Mittel sind die Immissionen, verursacht durch den betrachteten Standort, um etwa 23 dB stärker als die Felder der Nachbarstandorte.



### III.2.5 Hoch montierte Antenne im städtischen Umfeld

Für das Szenario „Hoch montierte Antenne im städtischen Umfeld“ wurden Messungen an drei verschiedenen Standorten durchgeführt. Hierdurch wird es möglich,

- die Entfernungsabhängigkeit,
- die Höhenschichtung sowie
- die Immissionsverhältnisse an einer innerstädtischen Anlage mit mehreren Betreibern getrennt zu untersuchen.

#### III.2.5.1 Entfernungsabhängigkeit

Die Untersuchungen zur Entfernungsabhängigkeit wurden an einer Anlage in Recklinghausen durchgeführt. Hierbei wurde eine Anlage untersucht, bei der GSM 900-, GSM 1800- und UMTS-Signale eines Betreibers über drei verschiedene Antennensysteme abgestrahlt werden. Die Sektorausrichtungen für jedes System sind identisch. Die Antennen sind in etwa 30 Meter Höhe über Grund montiert. Die Umgebung des Standortes, die horizontale Ausrichtung der Sendeantennen sowie die Lage der Messpunkte sind im folgenden Bild dargestellt.

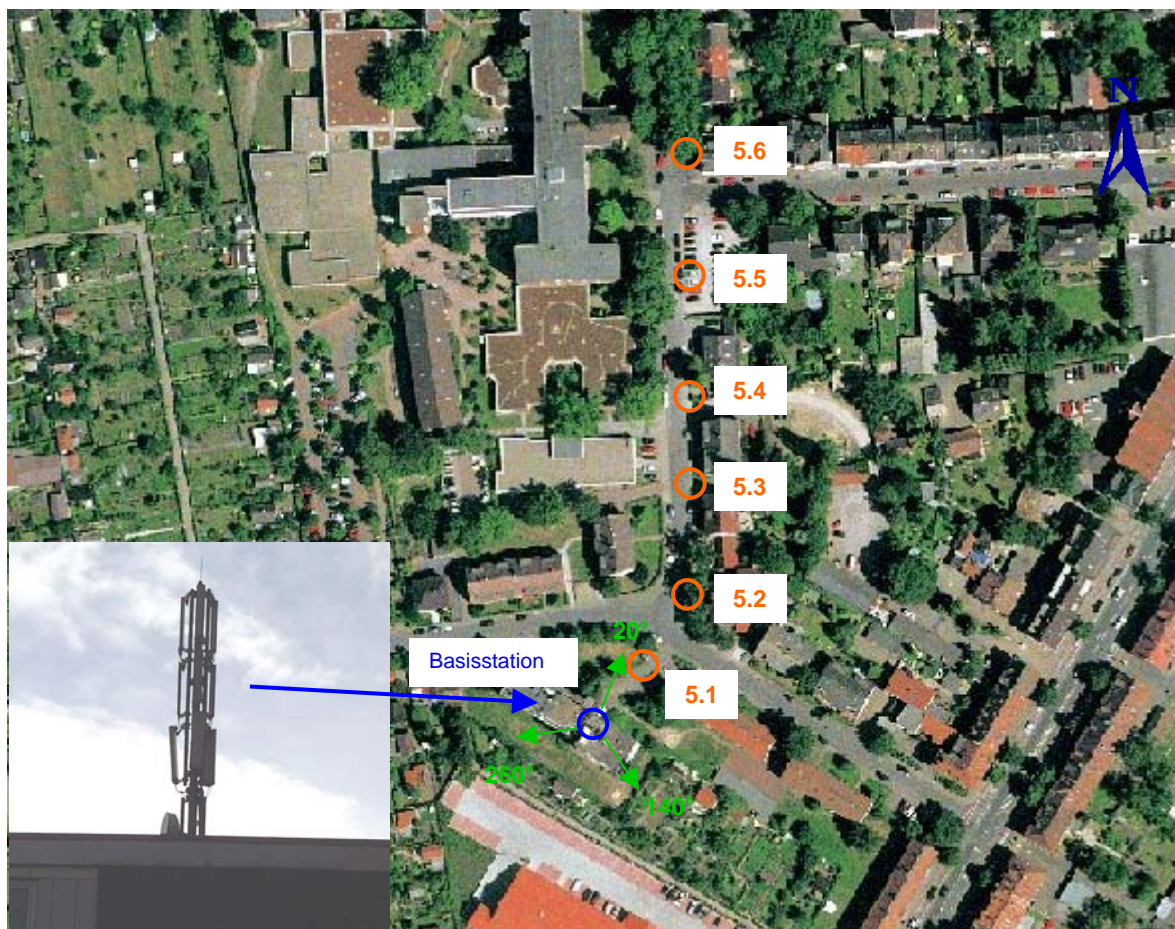


Bild III.2.17: Szenario 5 (Entfernungsabhängigkeit): Lageplan mit Anlagenstandort und Messpunktverteilung

Alle Messpunkte liegen ebenerdig auf derselben Höhe und haben Sicht zur Sendeanlage. Durch die linienförmige Anordnung der Messpunkte ist es wiederum möglich, ein Entfernungsprofil zu erstellen und eventuelle Unterschiede in der Verteilung von GSM- und UMTS-Immissionen zu studieren (siehe Bild III.2.17).



Bild III.2.18: Szenario 5 (Entfernungsabhängigkeit): Blick vom Messpunkt 5.1 auf die Anlage (links). Entlang der Straße (rechts) wurde das Entfernungsprofil aufgenommen

Punkt Nr.	Messort	Sicht	Horizontale Entfernung zum Antennenstandort
5.1	Vor der Anlage (Auf der Jungfernheide)	ja	37 m
5.2	Kreuzung Auf der Jungfernheide / Röntgenstraße	ja	60 m
5.3	Röntgenstraße, 87 m entfernt	ja	87 m
5.4	Röntgenstraße, 118 m entfernt	ja	118 m
5.5	Röntgenstraße Einfahrt Parkplatz	ja	149 m
5.6	Kreuzung Röntgenstraße / Elisabethstraße	ja	190 m

Tabelle III.2.17: Szenario 5 (Entfernungsabhängigkeit): Messpunkte

Die Messungen wurden bei bedecktem, aber trockenem Wetter durchgeführt. In folgender Tabelle ist zunächst nur die UMTS-Immission für die sechs Punkte angegeben. Die Immission durch die GSM-Signale vom Standort wird anschließend in einer zweiten Tabelle dargestellt.

Punkt Nr.	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
5.1	0,44	0,72	513,6
5.2	0,28	0,46	212,5
5.3	0,35	0,58	327,8
5.4	0,56	0,92	836,6
5.5	0,50	0,82	659,2
5.6	1,15	1,88	3.502,7

Tabelle III.2.18: Szenario 5 (Entfernungsabhängigkeit): UMTS-Exposition

Punkt Nr.	Elektr. Feldstärke E in V/m *	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert nach 26. BImSchV **	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ***
5.1	0,91	1,99	2.177,8
5.2	1,68	3,98	7.504,0
5.3	3,06	7,24	24.859,5
5.4	2,99	7,07	23.732,5
5.5	2,20	5,01	12.875,0
5.6	1,45	3,02	5.580,8

Tabelle III.2.19: Szenario 5 (Entfernungsabhängigkeit): GSM-Exposition.

\*: nach Formel III.2.2; \*\*: nach Formel III.2.3; \*\*\*: nach Formel III.2.4

Da am Anlagenort neben GSM 900- auch GSM 1800-Systeme installiert waren, wurde in Tabelle III.2.19 bezüglich einer *Summenimmission für GSM* in Übereinstimmung mit [FEE 04] und [BUWAL 03] eine Addition der Teilbeträge für GSM 900 und GSM 1800 wie folgt durchgeführt:

$$E_{\text{GSM}}[\text{V}/\text{m}] = \sqrt{(E_{\text{GSM900}}[\text{V}/\text{m}])^2 + (E_{\text{GSM1800}}[\text{V}/\text{m}])^2} \quad (\text{III.2.2})$$

$$E_{\text{GSM}}[\% \text{GW}] = \sqrt{(E_{\text{GSM900}}[\% \text{GW}])^2 + (E_{\text{GSM1800}}[\% \text{GW}])^2} \quad (\text{III.2.3})$$

$$S_{\text{GSM}}[\mu\text{W}/\text{m}^2] = S_{\text{GSM900}}[\mu\text{W}/\text{m}^2] + S_{\text{GSM1800}}[\mu\text{W}/\text{m}^2] \quad (\text{III.2.4})$$

An allen Messpunkten dominieren absolut und grenzwertbezogen die GSM-Immissionen. Die Unterschiedsfaktoren zwischen GSM- und UMTS-Immission erreichen im Mittel Werte von 12 dB.

In folgendem Bild sind die Resultate aus den obigen beiden Tabellen visualisiert. Zusätzlich zu den grenzwertbezogenen GSM- und UMTS-Immissionen ist auch eine Gesamtimmision aus beiden dargestellt, die nach Formel III.2.1 gebildet wurde.

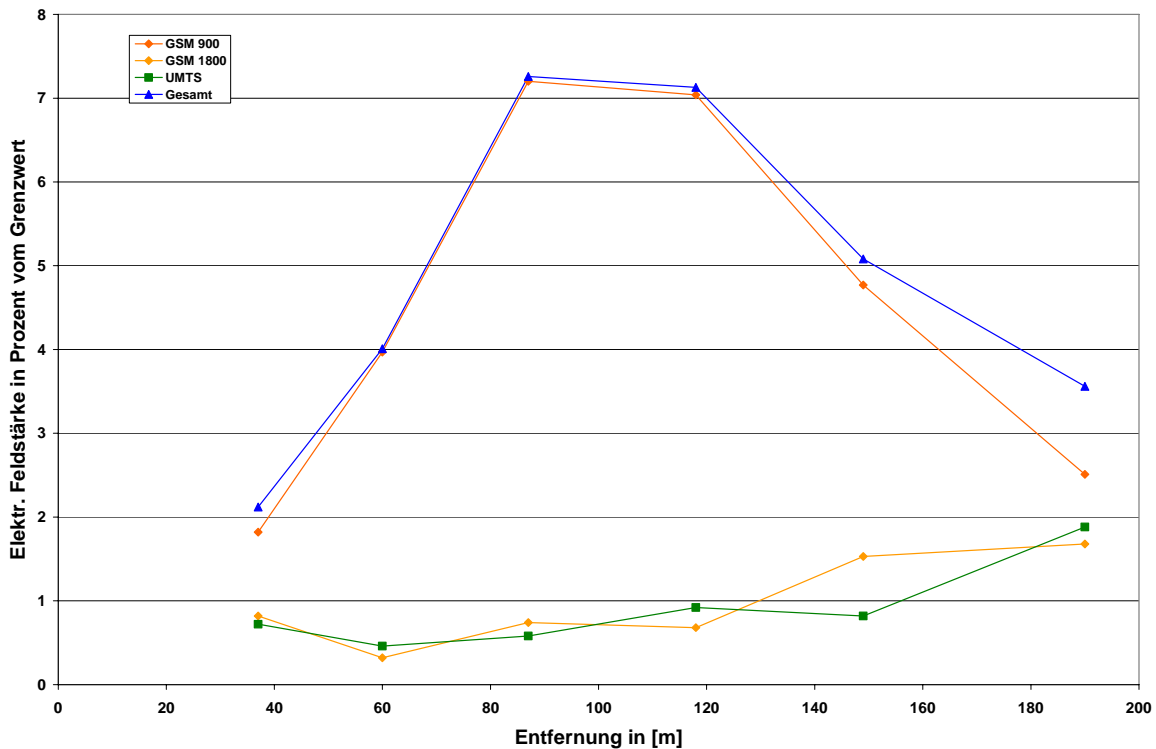


Bild III.2.19: Szenario 5 (Entfernungsabhängigkeit): Grafische Darstellung der gemessenen Expositionswerte

Das Entfernungsprofil im Nahbereich zeigt erneut keine einheitliche Immissionsabnahme bei steigender Entfernung. Bedingt durch die breitere Hauptkeule und den stärkeren Downtilt bei GSM 900 (vgl. Bild III.2.17, unterstes Antennensystem) erreicht die Hauptkeule schon ab ca. 90 Meter den Erdboden; danach nimmt die GSM-Immission gleichmäßig ab. Dem gegenüber sind die Verläufe von GSM 1800 und UMTS untereinander ähnlich: Im Unterschied zu GSM 900 steigt die Immission zu größeren Abständen hin fast stetig an, was darauf hindeutet, dass die Hauptkeule den Boden noch nicht erreicht hat. Bezüglich eines Vergleiches von GSM 1800 und UMTS überwiegen in Abhängigkeit der konkreten Lage an den Messpunkten abwechselnd die Immissionen des einen oder des anderen Systems.

### III.2.5.2 Höhenschichtung

Im Folgenden soll die *vertikale* Immissionsverteilung in der Umgebung eines Standortes untersucht werden. Bei der dazu betrachteten Anlage handelt es sich um einen Standort, an dem die Antennen von zwei GSM 900-, einer GSM 1800- und drei UMTS-Anlagen in etwa 30

Meter Höhe auf dem Dach eines Hochhauses installiert sind. Dieses befindet sich im Innenstadtbereich von Regensburg. In etwa 190 Meter Entfernung vom Standort befindet sich ein weiteres Hochhaus, von dessen Ostfassade aus direkte Sicht zum Anlagenstandort besteht. Alle anderen Gebäude im Umfeld sind deutlich niedriger.

Die nähere Umgebung des Standortes, die horizontale Ausrichtung der Sendeantennen sowie die Lage der Messpunkte sind in folgendem Bild dargestellt.



Bild III.2.20: Szenario 5 (Höhenschichtung): Lageplan "Regensburg" mit Anlagenstandort und Messpunkten

Sieben von acht untersuchten Messpunkten befinden sich in verschiedenen Stockwerken des Gebäudes im Freien (Loggia). Nur der Messpunkt 1 befindet sich direkt vor dem Gebäude in Bodennähe. Einige der Messpunkte sind in folgendem Bild zu sehen.



Bild III.2.21: Szenario 5 (Höhenschichtung): Lage der Messpunkte 5.8 bis 5.14 (oben links), Messpunkt 5.7 (oben rechts), Blick von Messpunkt 5.9 in Richtung zum Anlagenstandort (unten links), Blick von Messpunkt 5.14 in Richtung zum Anlagenstandort (unten rechts)

Von allen Punkten besteht Sichtverbindung zu den Mobilfunkantennen, drei Messpunkte liegen höher als die Antennen auf dem gegenüberliegenden Anlagenstandort (Punkte 5.12 bis 5.14). Das achte Obergeschoss des Gebäudes befindet sich etwa auf gleicher Höhe wie die Mobilfunkantennen. Die Punkte sind in folgender Tabelle genauer charakterisiert.

Punkt Nr.	Messort	Horizontale Entfernung zum Antennenstandort
5.7	Vor dem Gebäude	190 m
5.8	1. OG (Loggia)	190 m
5.9	3. OG (Loggia)	190 m
5.10	5. OG (Loggia)	190 m
5.11	7. OG (Loggia)	190 m
5.12	9. OG (Loggia)	190 m
5.13	11. OG (Loggia)	190 m
5.14	13. OG (Loggia)	190 m

Tabelle III.2.20: Szenario 5 (Höhenschichtung): Messpunkte

Die Messungen wurden bei trockenem Wetter durchgeführt. In folgender Tabelle ist zunächst nur die UMTS-Immission für die acht Punkte angegeben. Die Immission durch die GSM-Signale vom Standort wird anschließend in einer zweiten Tabelle dargestellt.

Punkt Nr.	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
5.7	0,82	1,34	1.767,1
5.8	1,35	2,21	4.801,7
5.9	2,02	3,31	10.829,9
5.10	1,98	3,24	10.358,8
5.11	1,72	2,82	7.870,5
5.12	1,16	1,90	3.563,5
5.13	0,74	1,21	1.449,1
5.14	0,47	0,77	581,8

Tabelle III.2.21: Szenario 5 (Höhenschichtung): UMTS-Exposition

Punkt Nr.	Elektr. Feldstärke E in V/m *	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert nach 26. BImSchV **	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ***
5.7	1,45	3,20	5.572,4
5.8	2,40	5,23	15.230,3
5.9	2,75	5,67	20.129,4
5.10	2,79	5,64	20.688,7
5.11	3,03	5,80	24.371,9
5.12	2,81	5,57	20.976,9
5.13	2,10	4,19	11.696,0
5.14	1,53	3,20	6.171,9

Tabelle III.2.22: Szenario 5 (Höhenschichtung): GSM-Exposition.

\*: nach Formel III.2.2; \*\*: nach Formel III.2.3; \*\*\*: nach Formel III.2.4

An allen Messpunkten dominieren die Immissionen, verursacht durch die von den Antennen abgestrahlten GSM-Signale. Im Mittel erzeugt GSM an den acht Punkten etwa 8 dB höhere Immissionen als UMTS. Ein Grund dafür ist die Tatsache, dass von diesem Standort die GSM-Signale mit größerer Maximalleistung abgestrahlt werden als UMTS.

In folgendem Bild sind die Resultate aus den obigen beiden Tabellen visualisiert. Zusätzlich zu den grenzwertbezogenen GSM- und UMTS-Immissionen ist auch eine Gesamtimmission aus beiden dargestellt, die nach Formel III.2.1 gebildet wurde.

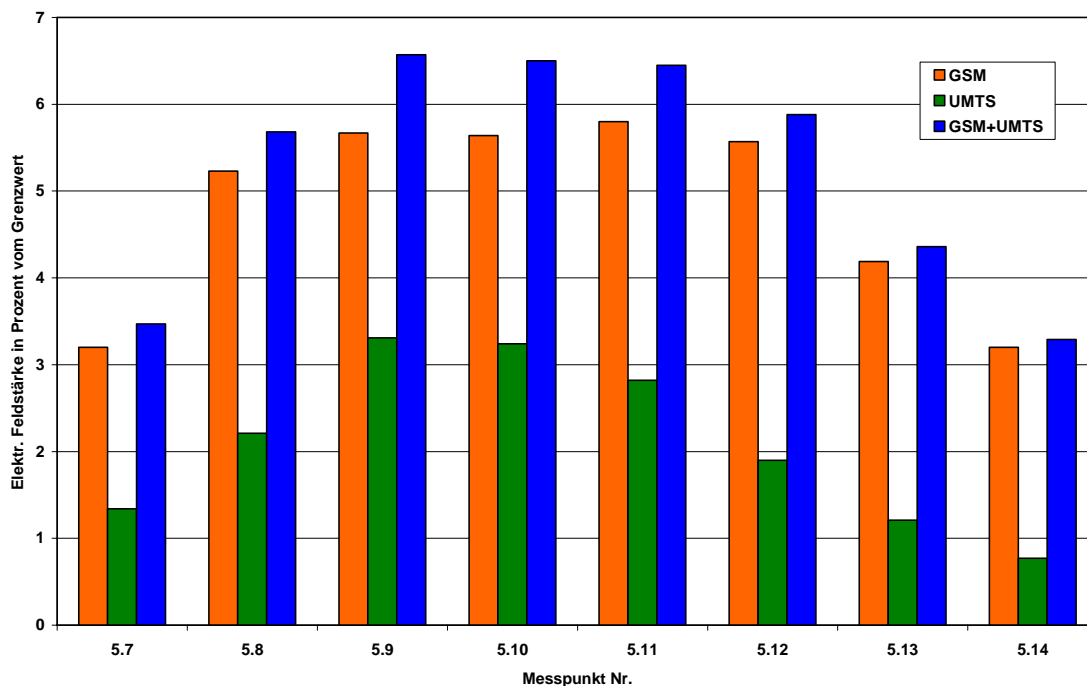


Bild III.2.22: Szenario 5 (Höhenschichtung): Grafische Darstellung der Expositionswerte



Das vertikale Antennendiagramm der Mobilfunkantennen ist aus den Messwerten deutlich zu erkennen: Die größten Expositionswerte finden sich im Bereich zwischen dem dritten und dem siebten Obergeschoss des Gebäudes (Messpunkte 5.9 bis 5.11). Darüber und darunter sind niedrigere Feldstärkewerte feststellbar. Auch ist gut zu sehen, dass die Hauptstrahlrichtung der Mobilfunkantennen etwas nach unten abgesenkt ist, da das Feldstärkemaximum nicht im Bereich des achten Obergeschosses (gleiche Höhe wie die Mobilfunkantennen), sondern etwas tiefer auf Höhe des fünften Obergeschosses auftritt. Außerdem zeigt die vertikale Feldstärkeverteilung, dass die vertikale Hauptkeule der UMTS-Antennen etwas schmaler ist als die der GSM 900-Antennen. Auf diesen Umstand wird in Abschnitt III.4.2 noch näher eingegangen.

### **III.2.5.3 Innerstädtische Anlage mit mehreren Betreibern**

Zusätzlich zu den systematischen Untersuchungen bezüglich Entfernungsabhängigkeit und Höhenschichtung wurden für eine hoch montierte Anlage in städtischem Umfeld, die von mehreren Betreibern gemeinsam genutzt wird, Messungen bei verschiedenen Abständen, Sichtbedingungen und Höhenunterschieden durchgeführt. Die Messpunkte beschränken sich nicht nur auf das unmittelbare Umfeld, sondern erreichen Abstände bis etwa 450 Meter zur Anlage. Bei der untersuchten Anlage handelt es sich um eine Anlage in der Innenstadt von Krefeld. Auf einem Gebäude sind in etwa 17 bis 28 Meter über dem Boden Antennen drei verschiedener Betreiber montiert. Alle drei Betreiber senden von diesem Standort GSM und UMTS-Signale aus. Bei Betreiber 1 und 3 sind GSM- und UMTS-Antennen jeweils gleich ausgerichtet (0°, 120° und 240° bei Betreiber 1, 60°, 190° und 310° bei Betreiber 3). Bei Betreiber 2 wird GSM in die Richtungen 160° und 330° abgestrahlt, UMTS hingegen in die Richtungen 0°, 120° und 240°. Die Umgebung des Standortes, die horizontale Ausrichtung der Sendeantennen sowie die Lage der Messpunkte sind im folgenden Bild dargestellt.

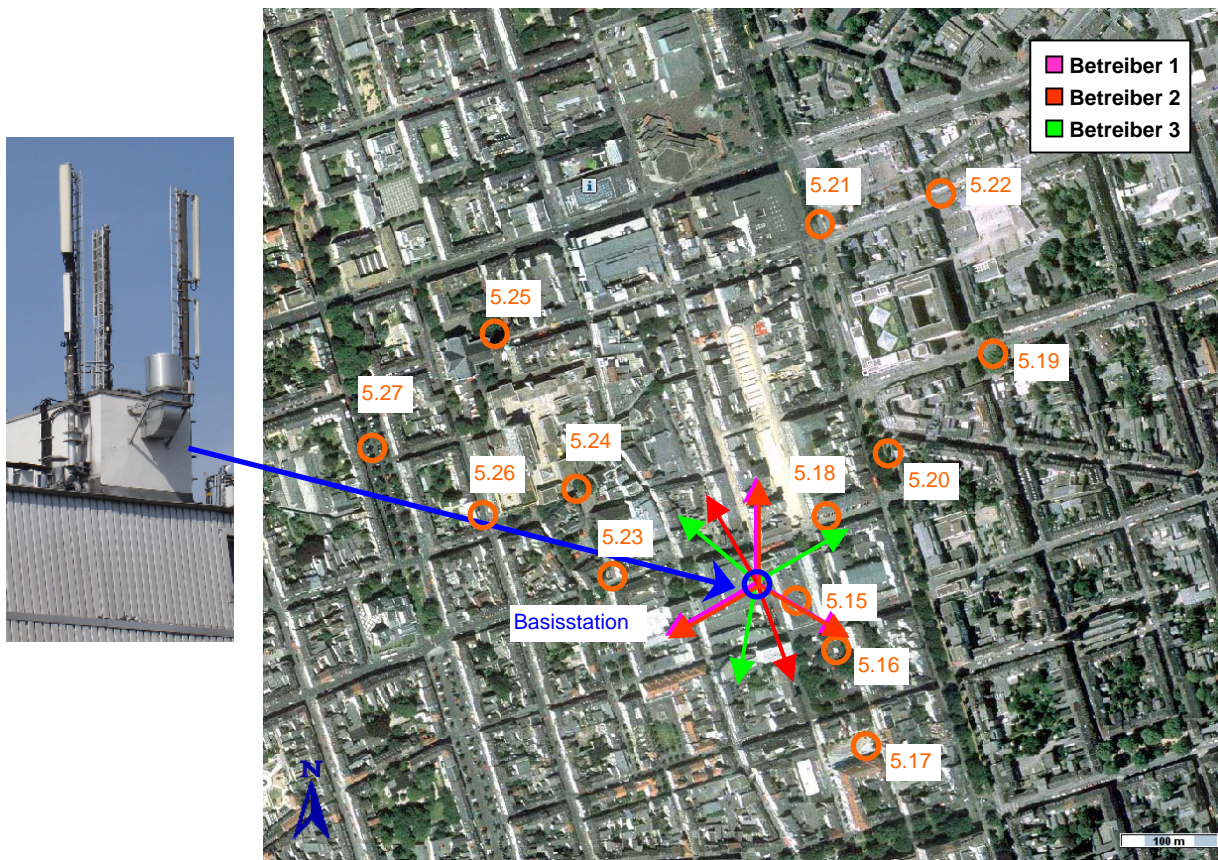


Bild III.2.23: Szenario 5 (3 Betreiber): Lageplan mit Anlagenstandort und Messpunkteverteilung

Mit Ausnahme von MP 5.15 liegen alle Messpunkte ebenerdig; MP 5.15 befindet sich auf dem obersten Deck eines Parkhauses unmittelbar neben der Sendeanlage und hat bei einem nur geringen Höhenunterschied freie Sicht auf die Anlage. Das nachfolgende Bild beschreibt auszugsweise einige der untersuchten Messpunkte.



Bild III.2.24: Szenario 5 (3 Betreiber): Blick vom MP 5.15 (links oben), 5.16 (links unten) und 5.18 (rechts) auf die Anlage

Punkt Nr.	Messort	Sicht	Horizontaldistanz zum Antennenstandort
5.15	Oberstes Parkdeck des Kaufhof-Parkhauses	ja	41 m
5.16	Parkplatz Dr. Hirschfelder-Platz	ja	131 m
5.17	Mittelstraße	nein	213 m
5.18	Marktstraße am Parkhaus Kaufhof	Bäume	100 m
5.19	Luisenstraße Ecke Neue Linner Straße	nein	361 m
5.20	Ostwall Ecke Alte Linner Straße	nein	201 m
5.21	Ostwall Ecke Rheinstraße	nein	396 m
5.22	Rheinstraße Ecke Luisenstraße	nein	445 m
5.23	Marktstraße	nein	131 m
5.24	Schwanenmarkt	nein	208 m
5.25	Rheinstraße Dionysiusplatz	nein	371 m

<b>Punkt Nr.</b>	<b>Messort</b>	<b>Sicht</b>	<b>Horizontale Entfernung zum Antennenstandort</b>
5.26	Evertsstraße Ecke Breite Straße	nein	289 m
5.27	Lenssenstraße am Parkplatz vor Haus Nr. 100	nein	425 m

Tabelle III.2.23: Szenario 5 (Entfernungsabhängigkeit): Messpunkte

Die Messungen wurden bei sonnigem und trockenem Wetter durchgeführt. In folgender Tabelle ist zunächst nur die UMTS-Immission für die 13 Punkte angegeben. Die Immission durch die GSM-Signale vom Standort wird anschließend in einer zweiten Tabelle dargestellt.

<b>Punkt Nr.</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in V/m</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV</b>	<b>Leistungsflussdichte S in <math>\mu\text{W}/\text{m}^2</math></b>
5.15	1,27	2,09	4.298,9
5.16	0,59	0,97	937,0
5.17	0,30	0,49	233,3
5.18	0,37	0,61	370,7
5.19	0,04	0,07	4,8
5.20	0,14	0,23	54,1
5.21	0,02	0,03	0,9
5.22	0,006	0,01	0,1
5.23	0,14	0,23	50,9
5.24	0,07	0,12	14,7
5.25	0,02	0,03	1,0
5.26	0,05	0,07	5,4
5.27	0,02	0,04	1,5

Tabelle III.2.24: Szenario 5 (3 Betreiber): UMTS-Exposition

Punkt Nr.	Elektr. Feldstärke E in V/m *	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert nach 26. BImSchV **	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ***
5.15	1,28	2,72	4.324,2
5.16	1,39	3,26	5.093,3
5.17	0,16	0,36	68,6
5.18	0,65	1,44	1.125,7
5.19	0,04	0,08	5,2
5.20	0,17	0,33	79,9
5.21	0,03	0,06	2,3
5.22	0,004	0,01	0,03
5.23	0,19	0,43	97,3
5.24	0,09	0,18	22,9
5.25	0,02	0,03	0,7
5.26	0,05	0,11	7,2
5.27	0,02	0,04	1,1

Tabelle III.2.25: Szenario 5 (3 Betreiber): GSM-Exposition.

\*: nach Formel III.2.2; \*\*: nach Formel III.2.3; \*\*\*: nach Formel III.2.4

An der Mehrzahl der Messpunkte dominieren die GSM-Immissionen. Der mittlere Unterschiedsfaktor fällt mit etwa 1 dB allerdings nicht so groß aus wie in den anderen Szenarien. Die installierten Sendeleistungen von GSM sind mit denen von UMTS insgesamt vergleichbar. Die Resultate aus den obigen beiden Tabellen sind in Bild III.2.25 visualisiert. Zusätzlich zu den grenzwertbezogenen GSM- und UMTS-Immissionen ist auch eine Gesamtmission aus beiden dargestellt, die nach Formel III.2.1 gebildet wurde.

Die Anwesenheit von drei Netzbetreibern mit GSM und UMTS auf ein und derselben Anlage eröffnet die Möglichkeit, den Vergleich von GSM- und UMTS-Immissionen nicht nur insgesamt, sondern für alle drei Betreiber separat durchzuführen. Dieses ist in Bild III.2.26 dargestellt. Wie eingangs erwähnt muss hierbei berücksichtigt werden, dass bei Betreiber 2 die Azimut-Ausrichtungen von GSM- und UMTS-Sektoren nicht übereinstimmen, wohingegen sie bei den Betreibern 1 und 3 identisch sind.

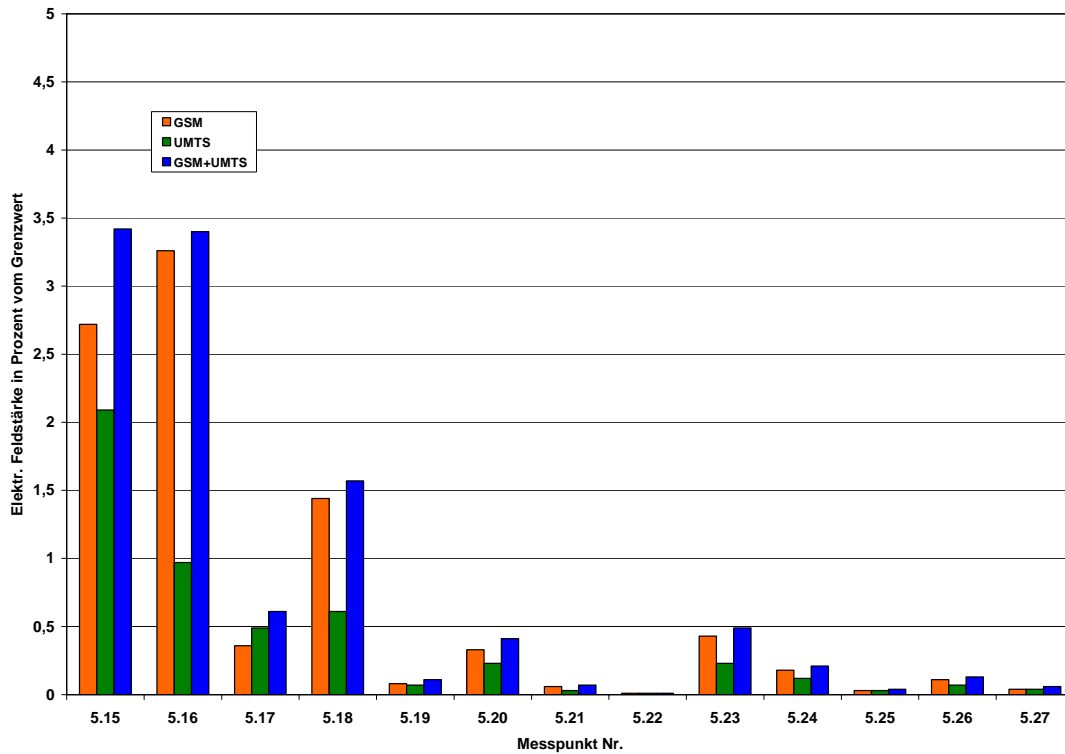


Bild III.2.25: Szenario 5 (3 Betreiber): Grafische Darstellung der gemessenen Expositionswerte

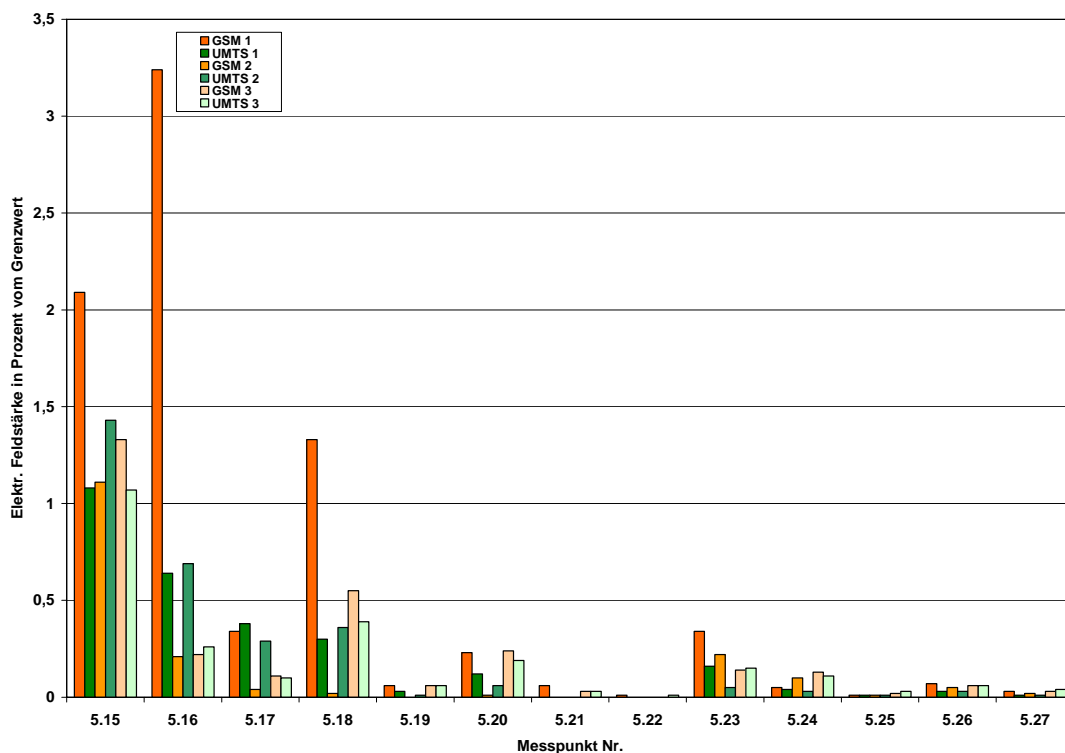


Bild III.2.26: Szenario 5 (3 Betreiber): Verhältnis GSM/UMTS nach Betreibern geordnet

Hierbei ist zu erkennen, dass das Verhältnis von GSM und UMTS je nach Messpunkt zwischen den einzelnen Betreibern verschieden sein kann. Der Quotient der grenzwertbezogene

nen Feldstärkeanteile (GSM% / UMTS%) schwankt über die Messpunkte bei den Betreiber 1 und 2 sehr stark (von 0,9 bis 5,1 bei Betreiber 1 und von 0,1 und 4,4 und bei Betreiber 2) und ist bei Betreiber 3 mit Werten zwischen 0,7 und 1,4 vergleichsweise homogen. Das stark gegensätzliche Verhältnis zwischen den Betreibern 1 und 2 an den MP 5.15 und 5.16 ist allerdings durch die unterschiedliche Ausrichtung von GSM- bzw. UMTS-Sektoren beim Betreiber 2 zu erklären; in Übereinstimmung mit der Lageskizze ist zu erkennen, dass beide Messpunkte näher zur Hauptstrahlrichtung der UMTS-Antennen des Betreibers 2 als zu seiner GSM-Hauptstrahlrichtung liegen. Betrachtet man deswegen nur die Beiträge von Betreiber 1 und 3, so ergeben sich aber trotzdem z.B. an den Messpunkten 5.16, 5.17 und 5.23 differierende GSM/UMTS-Verhältnisse, obwohl die installierten Leistungen von GSM und UMTS jeweils vergleichbar sind. Durch die immissionsmäßige Dominanz von Betreiber 1 werden diese feinen Unterschiede in der Gesamtbilanz nach Bild III.2.25 aber verwischt.

Zusätzlich wurde zum Vergleich noch ermittelt, welche Immissionen durch benachbarte UMTS-Sendeanlagen aller vier Netzbetreiber an den 13 Messpunkten erzeugt werden.

Punkt Nr.	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
5.15	0,51	0,84	703,5
5.16	0,02	0,03	0,8
5.17	0,01	0,02	0,4
5.18	0,04	0,07	4,3
5.19	0,04	0,07	4,6
5.20	0,16	0,27	70,5
5.21	0,34	0,56	311,9
5.22	0,32	0,53	272,1
5.23	0,03	0,05	2,6
5.24	0,07	0,12	13,7
5.25	0,11	0,18	30,8
5.26	0,07	0,12	13,5
5.27	0,04	0,07	4,3

Tabelle III.2.26: Szenario 5 (3 Betreiber): UMTS-Exposition, verursacht durch Nachbarstandorte

Der Immissionsvergleich zwischen betrachtetem Standort und den Anlagen in weiterer Entfernung ist im folgenden Bild grafisch dargestellt:

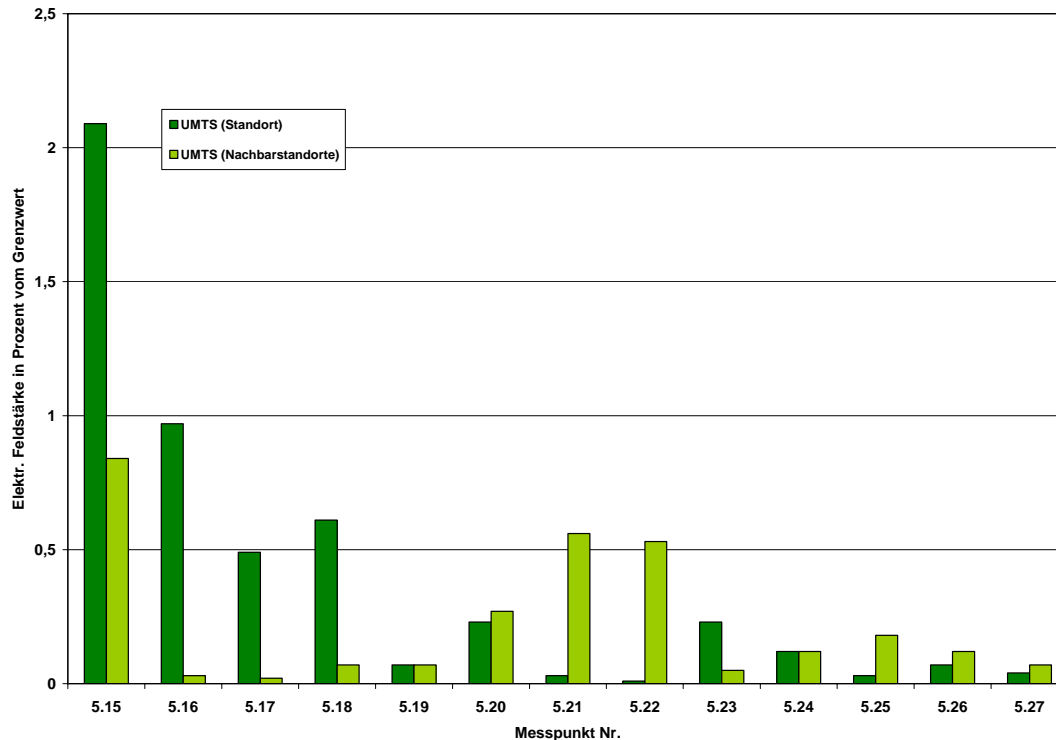


Bild III.2.27: Szenario 5 (3 Betreiber): Vergleich der UMTS-Immissionen zwischen untersuchtem Standort und Nachbarstandorten

An den MP 5.15 bis 5.18 dominieren deutlich die Immissionen durch die Sendeanlage am Standort. Dies ist dadurch begründet, dass diese Messpunkte vergleichsweise dicht an der Anlage liegen (bis etwa 200 Meter) und bis auf MP 5.17 auch direkte Sicht zur Anlage haben. An den Messpunkten 5.21 und 5.22 dominieren die Immissionen umliegender Anlagen hingegen deutlich. Die Erklärung hierfür liegt im großen Abstand zur betrachteten Sendeanlage (400 bzw. 450 Meter); außerdem hatten beide Messpunkte keine Sicht zur Anlage am Standort. Durch den großen Abstand zur Anlage am Standort in Verbindung mit ihrer Lage in einem Innenstadtzentrum (kleinere Zellen als in Stadtrandbereichen oder ländlichem Umfeld) befinden sie sich offensichtlich bereits im Versorgungsbereich anderer Mobilfunkanlagen im Umkreis bis ca. 300 m.

### III.2.6 Umgebung eines „Ultra High Site“ (UHS) Standortes

Bei der hier untersuchten Anlage handelt es sich um einen UHS-Standort (UHS = ultra high site), an dem die UMTS-Signale des Mobilfunkbetreibers E-Plus über neun sehr hoch montierte und mit je 40° Winkelversatz angeordnete Antennen abgestrahlt werden. Die Antennen sind in etwa 135 Meter über Grund am Kamin eines Heizkraftwerkes der Stadtwerke Erlangen montiert. Der Standort befindet sich am südwestlichen Rand des Stadtzentrums von Erlangen. Die nähere Umgebung des Standortes, die horizontale Ausrichtung der Sendantennen, sowie die Lage der Messpunkte sind in folgendem Bild dargestellt.





Bild III.2.28: Szenario 6: Lageplan mit Anlagenstandort und Messpunkten

In diesem Szenario wird die Größe der Exposition in verschiedenen Entfernungen zum UHS-Standort untersucht. Außerdem sollen zum Vergleich auch Immission von anderen, niedriger montierten UMTS-Anlagen erfasst werden.

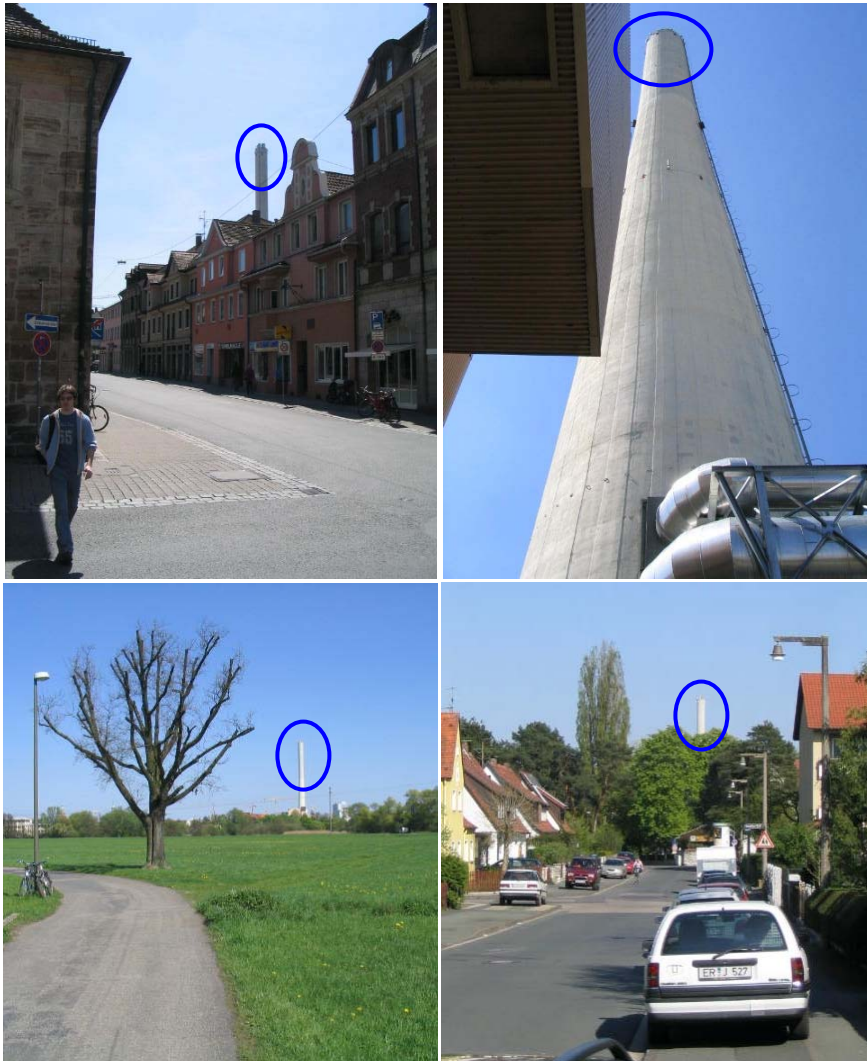


Bild III.2.29: Szenario 6: Blick von den Messpunkten 6.10 (oben links), 6.1 (oben rechts), 6.5 (unten links) und 6.8 (unten rechts) zum UHS-Standort (blaue Markierung)

Alle Messpunkte befanden sich im Freien in Bodennähe, teilweise mit und teilweise ohne Sichtverbindung zu den Mobilfunkantennen am Kamin, und sind in folgender Tabelle detailliert charakterisiert:

<b>Punkt Nr.</b>	<b>Messorte</b>	<b>Sicht</b>	<b>Horizontaldistanz zum Antennenstandort</b>
6.1	Kamin Heizkraftwerk, Güterbahnhofstr.	ja	ca. 5 m
6.2	Friedrich-List-Str. / Ecke Güterhallenstr.	ja	ca. 160 m
6.3	Regnitzauen; Rad- und Fußweg	ja	ca. 480 m
6.4	Wiese, Verlängerung Siedlerweg	ja	ca. 850 m
6.5	Siedlerweg	ja	ca. 1.100 m
6.6	Siedlerweg	ja	ca. 1.350 m
6.7	Siedlerweg	ja	ca. 1.600 m
6.8	Siedlerstr. / Ecke Schallershofer Str.	ja	ca. 1.900 m
6.9	Hugenottenplatz	nein	ca. 420 m
6.10	Bahnhofstr. / Ecke Calvinstr.	ja	ca. 395 m
6.11	Zwischen Damasckestr. 35 und 37	ja	ca. 1.700 m
6.12	Damasckestr. 35	nein	ca. 1.700 m
6.13	Habichtstr.	nein	ca. 2.100 m
6.14	Habichtstr.	ja	ca. 2.100 m
6.15	Erlenfeld, Parkplatz Seniorenheim	nein	ca. 2.000 m
6.16	Erlenfeld 4	nein	ca. 2.000 m

Tabelle III.2.27: Szenario 6: Messpunkte

Die Messungen wurden bei trockenem Wetter durchgeführt. In folgender Tabelle ist zunächst nur die UMTS-Immission, verursacht durch den UHS-Standort, für die 16 Messpunkte angegeben.

<b>Punkt Nr.</b>	<b>Horizontalentfernung zum UHS-Standort</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in V/m</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV</b>	<b>Leistungsflussdichte S in <math>\mu\text{W}/\text{m}^2</math></b>
6.1	ca. 5 m	0,23	0,37	138,6
6.2	ca. 160 m	0,33	0,54	283,5
6.3	ca. 480 m	0,07	0,11	11,9
6.4	ca. 850 m	0,21	0,35	120,9
6.5	ca. 1100 m	0,26	0,43	182,9
6.6	ca. 1350 m	0,35	0,58	333,1
6.7	ca. 1600 m	0,44	0,72	509,2
6.8	ca. 1900 m	0,32	0,52	271,0
6.9	ca. 420 m	0,02	0,03	0,7
6.10	ca. 395 m	0,10	0,17	27,3
6.11	ca. 1700 m	0,23	0,37	136,1
6.12	ca. 1700 m	0,03	0,06	3,1
6.13	ca. 2100 m	0,11	0,17	29,3
6.14	ca. 2100 m	0,12	0,20	38,1
6.15	ca. 2000 m	0,04	0,07	4,3
6.16	ca. 2000 m	0,02	0,02	0,6

Tabelle III.2.28: Szenario 6: UMTS-Exposition durch einen UHS-Standort

In folgendem Bild sind die Resultate aus obiger Tabelle visualisiert:

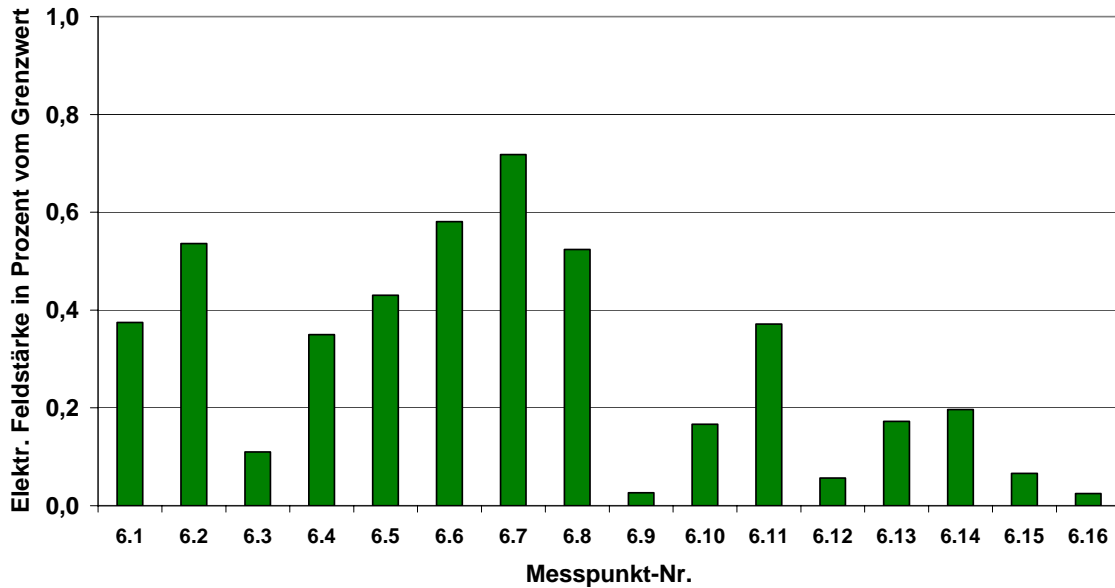


Bild III.2.30: Szenario 6: Grafische Darstellung der gemessenen UMTS-Expositionswerte, verursacht durch einen UHS-Standort

An allen Messpunkten bleiben die Immissionen unter einem Prozent vom Grenzwert, was bei sonst keinem der untersuchten Outdoor-Szenarien der Fall war.

Die zwei Messpunkt-Paare (6.9/6.10 und 6.11/6.12) wurden jeweils so gewählt, dass von einem der beiden Punkte Sicht, vom anderen hingegen keine direkte Sicht zum UHS-Standort herrscht. Bei nicht vorhandener Sicht ergibt sich durch die Wohnbebauung eine mittlere Abschwächung von etwa 6,5 dB gegenüber den Immissionen am Punkt mit direkter Sicht.

Im Folgenden wird die Entfernungsabhängigkeit der Exposition näher analysiert. In der ersten der beiden nachfolgenden Darstellungen sind nur die Messpunkte mit direkter Sicht zum UHS-Standort berücksichtigt und die Messergebnisse den Resultaten einer Feldstärke-simulation (FieldView) gegenübergestellt. In der zweiten Darstellung ist das Ergebnis der Feldstärkesimulation als Vertikalschnitt dargestellt.

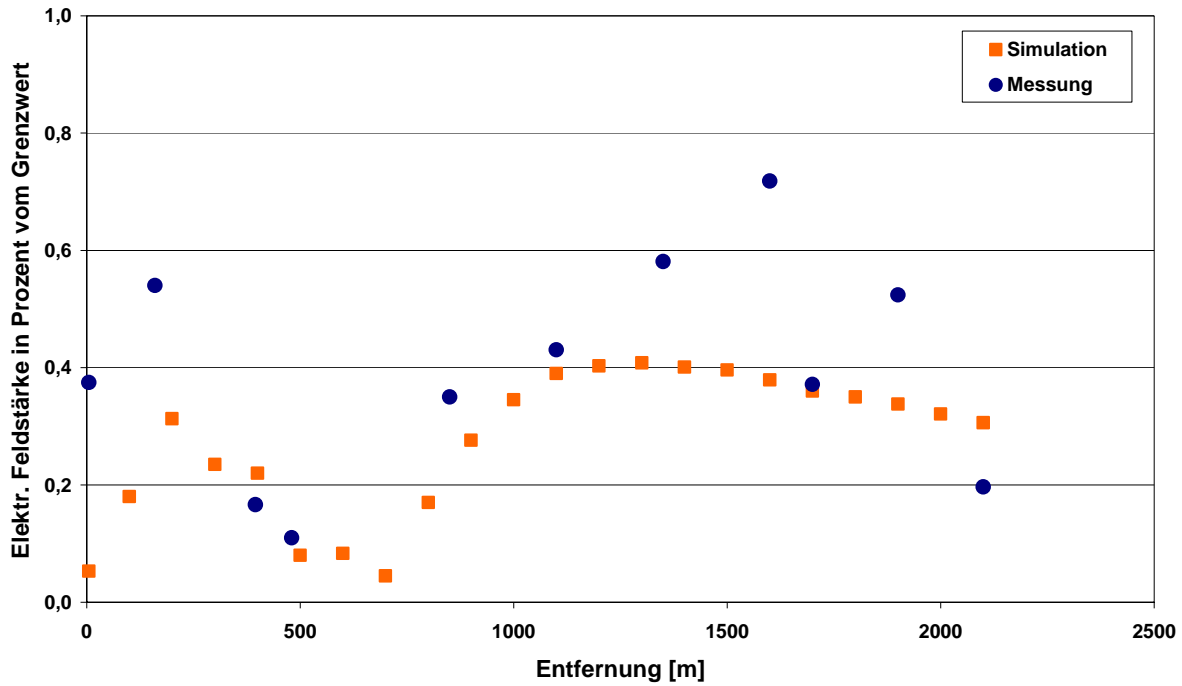


Bild III.2.31: Szenario 6: Grafische Darstellung der gefundenen Expositionswerte über die Entfernung zum UHS-Standort im Vergleich zur Simulation (nur Messpunkte mit direkter Sicht)

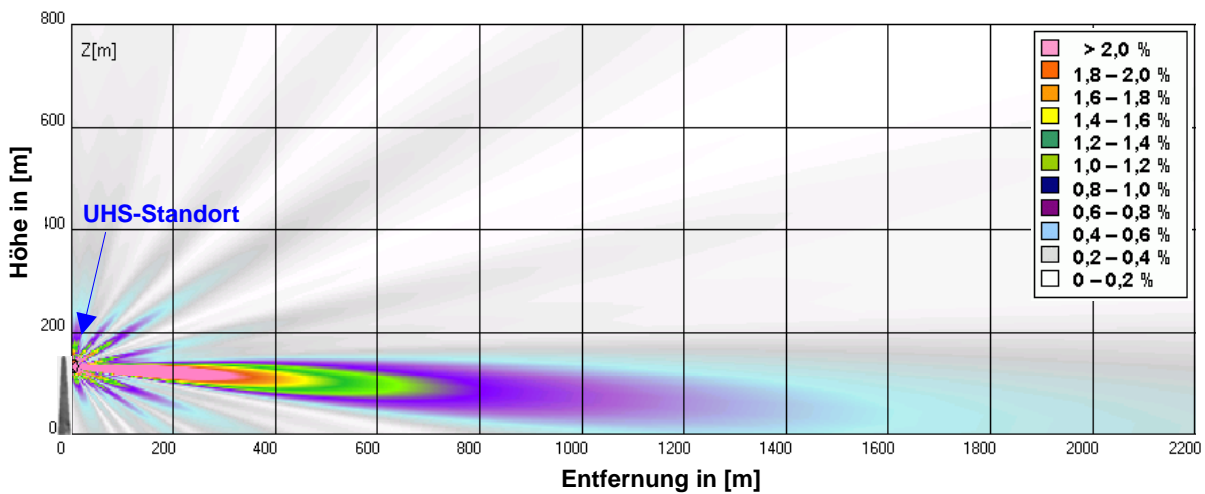


Bild III.2.32: Szenario 6: Simulation des UHS-Standortes mit FieldView; Darstellung der elektrischen Feldstärke in Prozent vom Grenzwert

Die UMTS-Felder, die durch den betrachteten UHS-Standort erzeugt werden, führen in der Umgebung zu Expositionswerten, die maximal bei 0,7 bis 0,8 Prozent vom Grenzwert liegen. Aufgrund der großen Montagehöhe der Antennen in Verbindung mit ihrer vertikalen Abstrahlcharakteristik wird im Nahbereich bis zu einer Entfernung von etwa 400 Meter die Größe der Felder durch die Nebenkeulen des Antennendiagramms bestimmt. Erst bei etwa 1.500 Meter wird das absolute Feldstärkemaximum erreicht, da hier die Hauptkeule den

Boden berührt (siehe Bild III.2.32). Im Vergleich zu niedriger montierten Antennen resultiert durch den großen Abstand auch ein deutlich niedrigerer Expositionswert. Verglichen beispielsweise mit Szenario 1 (niedrig montierter Standort) ergibt sich in der Region, in der die Hauptkeule den Boden erreicht, beim UHS-Standort ein um etwa 9 dB niedrigerer Expositionswert, obwohl in die drei UMTS-Antennen von Szenario 1 nur  $3 \times 20 = 60$  Watt, in die neun Antennen des UHS-Standortes hingegen  $9 \times 20 = 180$  Watt eingespeist werden.

Die Intensität der UMTS-Signale nimmt danach mit der Entfernung immer weiter ab. Die Entfernungsabhängigkeit der gefundenen Messwerte deckt sich gut mit den Ergebnissen einer rechnerischen Simulation der abgestrahlten UMTS-Signale des betrachteten UHS-Standortes.

Zusätzlich wurde an neun der 16 Punkte zum Vergleich noch ermittelt, welche Immissionen durch benachbarte "konventionelle" UMTS-Sendeanlagen der anderen Netzbetreiber (d.h. mit niedriger montierten Antennen) erzeugt werden. Von einem dieser Messpunkte aus bestand Sichtverbindung zu einem derartigen Nachbarstandort.

Das Ergebnis dieser Messungen ist in folgender Tabelle wiedergegeben:

Punkt Nr.	Horizontal-entfernung zum Nachbarstandort	Sicht	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
6.1	-*	nein	0,05	0,09	7,3
6.2	-*	nein	0,30	0,48	231,2
6.9	-*	nein	0,70	1,15	1.301,8
6.10	-*	nein	0,41	0,67	447,2
6.11	-*	nein	0,15	0,25	60,8
6.13	-*	nein	0,46	0,75	558,8
6.14	-*	nein	0,11	0,19	34,6
6.15	ca. 70 m	ja	0,94	1,55	2.358,8
6.16	ca. 40 m	nein	0,38	0,62	384,8

Tabelle III.2.29: Szenario 6: UMTS-Exposition durch Nachbarstandorte (\*: Abstand nicht ermittelbar)

Der Immissionsvergleich zwischen dem betrachteten UHS-Standort und den sonstigen benachbarten UMTS-Anlagen ist im folgenden Bild grafisch dargestellt:

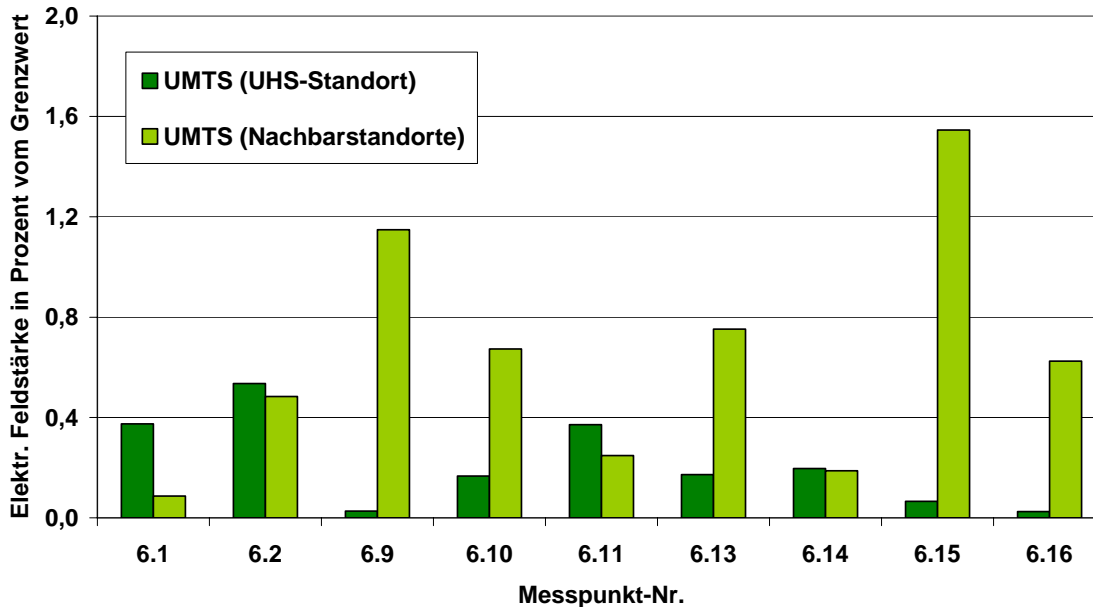


Bild III.2.33: Szenario 6: Vergleich der Immissionen vom UHS-Standort mit denen von Nachbarstandorten

Aufgrund der im Verhältnis niedrigeren Immissionen, die durch den UHS-Standort in der Umgebung erzeugt werden, überwiegt häufig die UMTS-Immission, verursacht durch Nachbarstationen anderer Netzbetreiber. Außer im unmittelbaren Nahbereich des Kamins (Messpunkte 6.1 und 6.2) dominiert nur noch das Signal des UHS-Standortes an Punkten, von denen aus direkte Sicht zum Kamin besteht und sich keine andere UMTS-Station in der Nähe befindet (Messpunkt 6.11) oder zumindest keine direkte Sicht zu einer anderen UMTS-Anlage vorhanden ist (Messpunkt 6.14). An allen anderen Messpunkten überwiegt die gemessene UMTS-Exposition von Nachbarstandorten anderer Betreiber zum Teil deutlich.

### III.2.7 UMTS-Indoorversorgung

Bei dem hier untersuchten Szenario handelt es sich um eine UMTS-Inhouseversorgung in der Zentrale des Mobilfunkbetreibers O<sub>2</sub> in München. Die UMTS-Antennen (Antennen mit Rundstrahlcharakteristik) sind in den Fluren des betrachteten Gebäudekomplexes an der Decke montiert. Der Grundriss der Gebäude sowie die Lage der Messpunkte und der Antennen sind in folgendem Bild dargestellt.



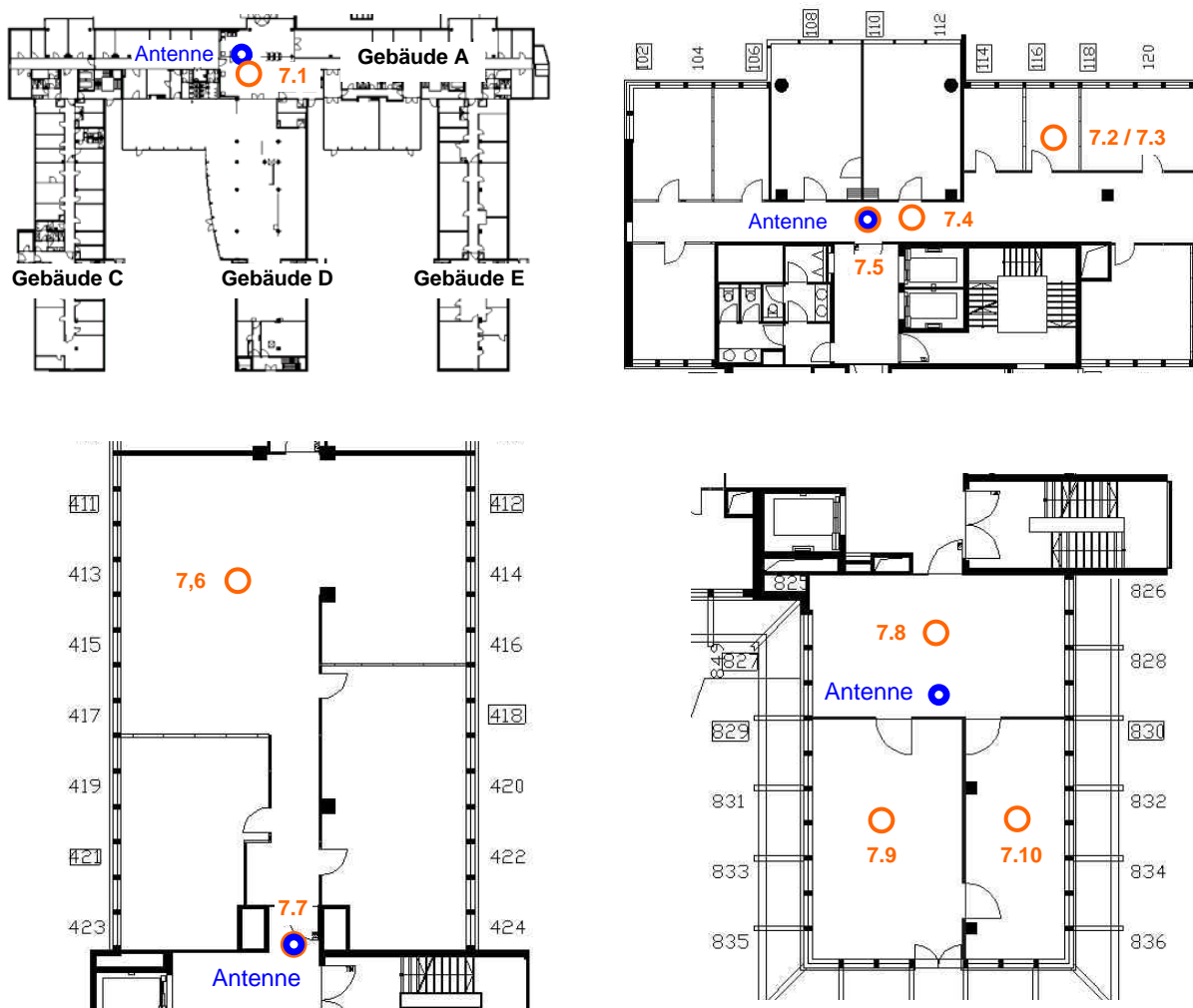


Bild III.2.34: Szenario 7: Grundriss der Gebäude und Lage des Messpunktes im EG Gebäude A (oben links), Lage der Messpunkte im 1. OG Gebäude A (oben rechts), Lage der Messpunkte im 4. OG Gebäude D ( unten links), Lage der Messpunkte im 8. OG Gebäude C (unten rechts)

In diesem Szenario soll die Expositionssituation in verschiedenen Büroräumen des Gebäudes untersucht werden. Folgendes Bild zeigt exemplarisch einige der Messpunkte und die benachbarten Antennenstandorte:

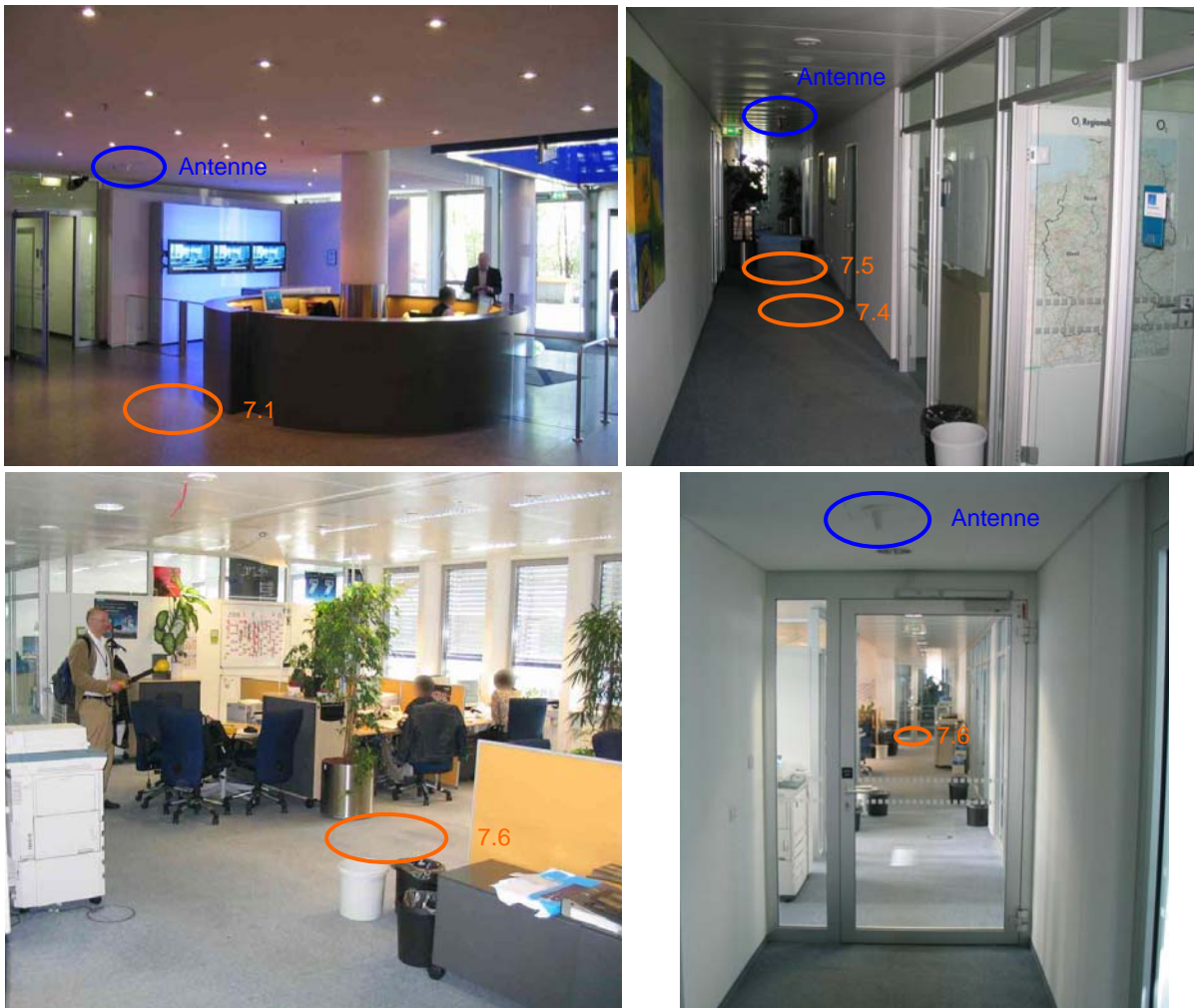


Bild III.2.35: Szenario 7: Messpunkte 7.1 (oben links) und 7.4 bzw. 7.5 (oben rechts) mit der jeweils nächsten UMTS-Antenne (blaue Markierung), Messpunkt 7.6 (unten links), Blick von der UMTS-Antenne zum Messpunkt 7.6 (unten rechts)

Alle Messpunkte befinden sich in Bereichen, in denen sich Menschen während der Arbeit dauerhaft aufhalten. Von den Punkten aus besteht teilweise direkte Sichtverbindung zu den Antennen, zum Teil ist auch keine direkte Sicht gegeben. In folgender Tabelle sind die Messpunkte detailliert charakterisiert:

Punkt Nr.	Messorte	Sicht	Horizontale Entfernung zur Antenne
7.1	Gebäude A, Empfang	ja	ca. 2 m
7.2	Gebäude A, Zi. 116, Büro (Tür offen)	nein	ca. 20 m
7.3	Gebäude A, Zi. 116, Büro (Tür geschlossen)	nein	ca. 20 m

Punkt Nr.	Messorte	Sicht	Horizontale Entfernung zur Antenne
7.4	Gebäude A, Flur, vor Zi. 110	ja	ca. 2 m
7.5	Gebäude A, Flur, direkt unter der Antenne	ja	ca. 0 m
7.6	Gebäude D, Großraumbüro (Zi. 411 – 415)	nein	ca. 13 m
7.7	Gebäude D, Flur, direkt unter der Antenne	ja	ca. 0 m
7.8	Gebäude C, Zi. 827, Empfang	ja	ca. 3 m
7.9	Gebäude C, Zi. 829, Büro	nein	ca. 5 m
7.10	Gebäude C, Zi. 831, Konferenzraum	nein	ca. 5 m

Tabelle III.2.30: Szenario 7: Messpunkte in Büroräumen und an Arbeitsplätzen

In folgender Tabelle ist die UMTS-Exposition, verursacht durch die Inhouse-Versorgung für die zehn Messpunkte angegeben. Immissionen, verursacht durch benachbarte UMTS-Anlagen außerhalb des Gebäudes, waren an den Messpunkten für die Summenexposition von untergeordneter Bedeutung.

Punkt Nr.	Horizontale Entfernung zur Antenne	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
7.1	ca. 2 m	3,22	5,27	27.429,3
7.2	ca. 20 m	0,66	1,09	1.172,3
7.3	ca. 20 m	0,46	0,76	568,4
7.4	ca. 2 m	4,13	6,76	45.150,1
7.5	ca. 0 m	5,11	8,38	69.288,1
7.6	ca. 13 m	0,15	0,24	57,8
7.7	ca. 0 m	3,99	6,54	42.233,7
7.8	ca. 3 m	2,83	4,64	21.264,7
7.9	ca. 5 m	0,60	0,98	947,7
7.10	ca. 5 m	0,52	0,85	707,4

Tabelle III.2.31: Szenario 7: UMTS-Exposition, verursacht durch eine Inhouse-Versorgung

In folgendem Bild sind die Resultate aus obiger Tabelle visualisiert:

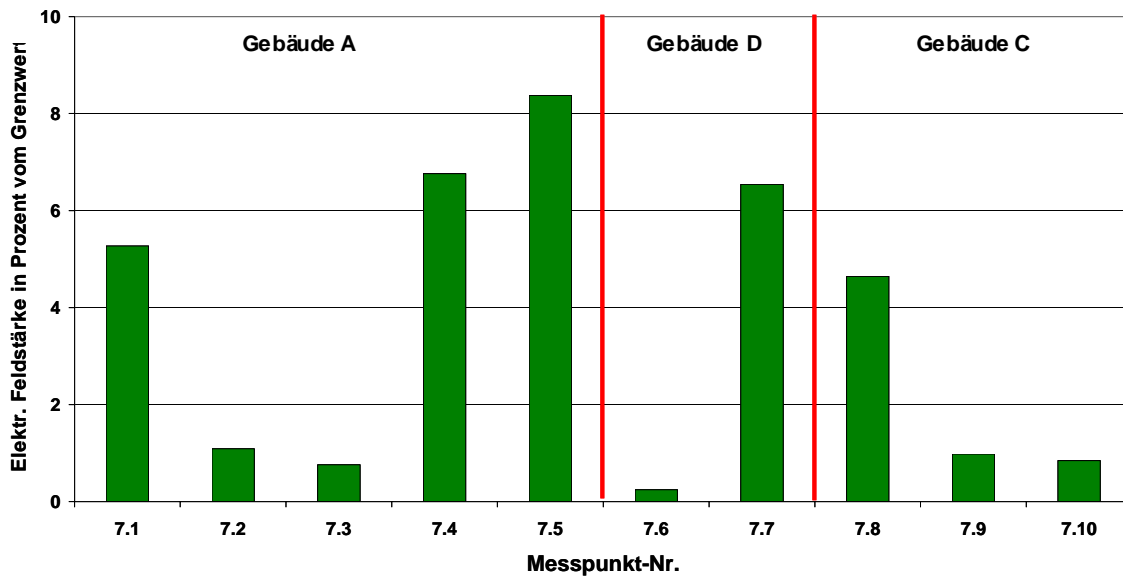


Bild III.2.36: Szenario 7: Grafische Darstellung der gemessenen UMTS-Expositionswerte, verursacht durch eine Inhouse-Versorgung

An den betrachteten Punkten ergeben sich zum Teil sehr deutliche Unterschiede in der Exposition. Die größten Messwerte sind an den Punkten in direkter Umgebung bzw. an Punkten mit direkter Sicht zu den Inhouse-Antennen (Punkte 7.1, 7.4, 7.5, 7.7 und 7.8) feststellbar. An Punkten ohne direkte Sicht oder in etwas größerer Entfernung zur Antenne ergeben sich um bis zu 30 dB niedrigere UMTS-Expositionswerte.

In einem weiteren Schritt wurde die entfernungsabhängige UMTS-Exposition im Bereich zwischen zwei Antennen untersucht. Dazu wurde eine "Linienmessung", ausgehend von einer Inhouse-Antenne in der Firmencafeteria (Erdgeschoss Gebäude D) bis zu einer zweiten Antenne in der Empfangshalle (Erdgeschoss Gebäude A) durchgeführt. Die elf Messpunkte dieser Messreihe lagen jeweils etwa vier Meter auseinander und es bestand immer Sicht zu mindestens einer der beiden Antennen. Ein Teilgrundriss des Gebäudekomplexes sowie die Lage der Messpunkte und der Antennen sind in folgendem Bild dargestellt.

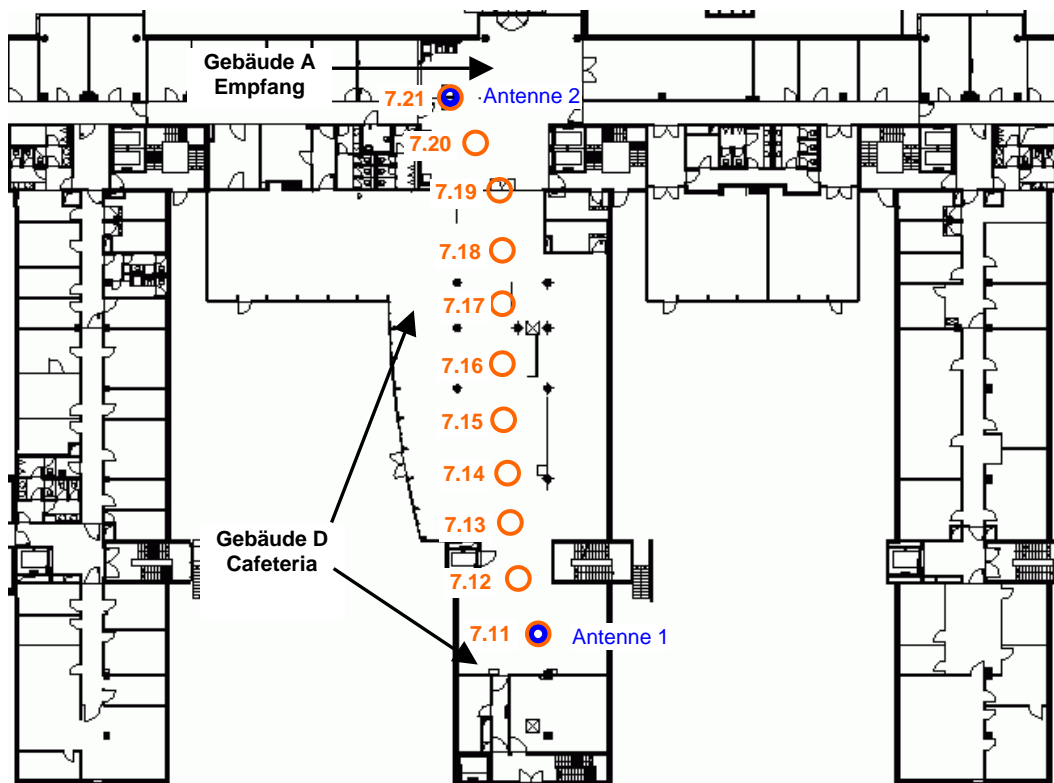


Bild III.2.37: Szenario 7: Teilgrundriss der Gebäude A und D mit Lage der Messpunkte der "Linienmessung" und der beiden UMTS-Inhouse-Antennen.



Bild III.2.38: Szenario 7: Verlauf der "Linienmessung" (orange Pfeile), Blick von der Cafeteria Richtung Empfangshalle (links), Blick von der Empfangshalle Richtung Cafeteria (Mitte), Empfangshalle (rechts)

In folgender Tabelle sind zunächst die Messpunkte sowie ihre Entfernung zu den beiden Antennen genauer beschrieben.

Punkt Nr.	Messorte	Sicht	Horizontale Entfernung zu	
			Antenne 1	Antenne 2
7.11	Gebäude D, Cafeteria, unter der Antenne	ja	ca. 0 m	ca. 40 m
7.12	Gebäude D, Cafeteria	ja	ca. 4 m	ca. 36 m
7.13	Gebäude D, Cafeteria	ja	ca. 8 m	ca. 32 m
7.14	Gebäude D, Cafeteria	ja	ca. 12 m	ca. 28 m
7.15	Gebäude D, Cafeteria	ja	ca. 16 m	ca. 24 m
7.16	Gebäude D, Cafeteria	ja	ca. 20 m	ca. 20 m
7.17	Gebäude D, Cafeteria	ja	ca. 24 m	ca. 16 m
7.18	Gebäude D, Cafeteria	ja	ca. 28 m	ca. 12 m
7.19	Gebäude A, Empfangshalle	ja	ca. 32 m	ca. 8 m
7.20	Gebäude A, Empfangshalle	ja	ca. 36 m	ca. 4 m
7.21	Geb. A, Empfangshalle, unter der Antenne	ja	ca. 40 m	ca. 0 m

Tabelle III.2.32: Szenario 7: Messpunkte "Linienmessung"

In folgender Tabelle sind die Ergebnisse der "Linienmessung", also die Exposition, verursacht durch die beiden Inhouse-Antennen, aufgelistet.

Punkt Nr.	Horizontale Entfernung zu		Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Antenne 1	Antenne 2			
7.11	ca. 0 m	ca. 40 m	3,32	5,45	29.288,2
7.12	ca. 4 m	ca. 36 m	2,61	4,27	18.016,0
7.13	ca. 8 m	ca. 32 m	1,79	2,93	8.465,6
7.14	ca. 12 m	ca. 28 m	1,19	1,95	3.738,2
7.15	ca. 16 m	ca. 24 m	1,24	2,03	4.061,2
7.16	ca. 20 m	ca. 20 m	0,65	1,07	1.135,5
7.17	ca. 24 m	ca. 16 m	0,64	1,04	1.073,1
7.18	ca. 28 m	ca. 12 m	1,01	1,65	2.697,3

Punkt Nr.	Horizontaldistanz zu		Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Antenne 1	Antenne 2			
7.19	ca. 32 m	ca. 8 m	1,54	2,53	6.319,5
7.20	ca. 36 m	ca. 4 m	3,46	5,68	31.846,3
7.21	ca. 40 m	ca. 0 m	4,96	8,13	65.298,1

Tabelle III.2.33: Szenario 7: UMTS-Exposition der "Linienmessung"

In der folgenden Abbildung sind die Ergebnisse der obigen Tabelle grafisch dargestellt.

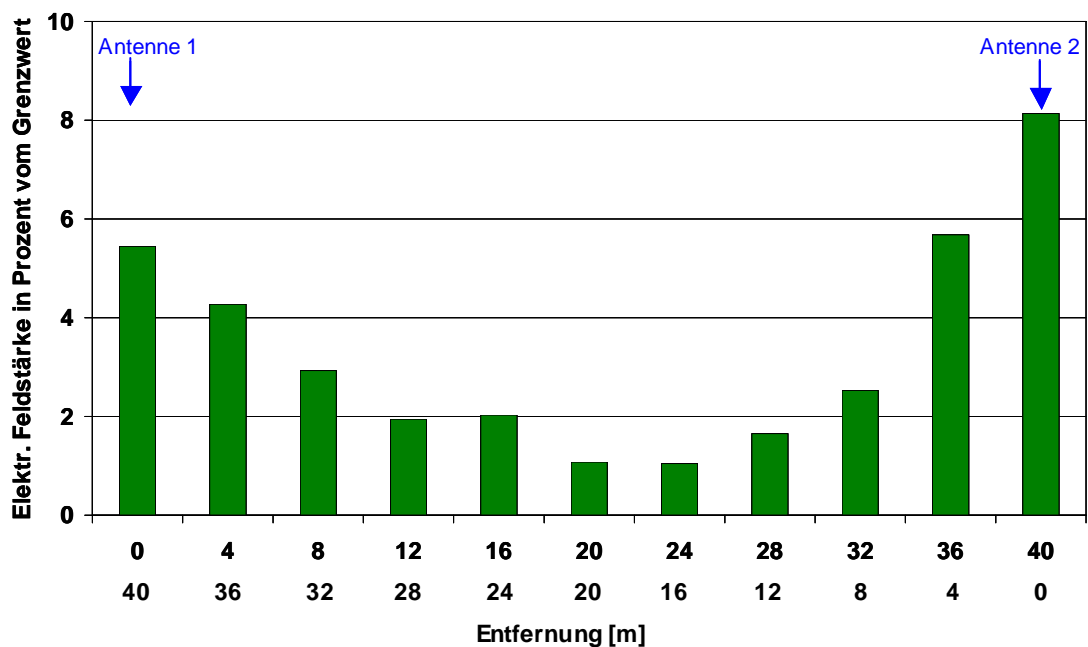


Bild III.2.39: Szenario 7: Grafische Darstellung der gefundenen Expositionswerte in Abhängigkeit von der Entfernung zu beiden Antennen

Direkt unter beiden Antennen ergeben sich Immissionsmaxima, die sich mit zunehmender Entfernung so lange abbauen, bis nach etwa 20 Meter Abstand der Einfluss der gegenüberliegenden Antenne überwiegt und die Exposition wieder zunimmt.

### III.2.8 UMTS-Exposition in einem Fußballstadion

Bei dem hier untersuchten Szenario handelt es sich um Zuschauerbereiche der Allianzarena in München. Zur Sicherstellung der GSM- und UMTS-Versorgung innerhalb der Arena wurde von den Netzbetreibern ein sehr aufwändiges Antennennetzwerk errichtet, so dass im Bereich des Stadions eine Versorgungskapazität sichergestellt ist, die etwa der der Stadt Kempten entspricht. Um in allen Bereichen des Stadions eine hochwertige Versorgung zu gewährleisten, wurden sowohl Antennen am Stadionsdach installiert (Versorgung der Zuschauertribünen), als auch Indoorantennen in den verschiedenen Stockwerken eingesetzt. Die Mobilfunkversorgung der VIP-Logen erfolgt zum Teil über abstrahlende Schlitzkabel.

Die Expositionssituation in den verschiedenen Bereichen des Stadions wurde exemplarisch an vier unterschiedlichen Punkten untersucht. Von drei dieser Punkte aus besteht direkte Sichtverbindung zu Mobilfunkantennen, an einem Punkt ist keine direkte Sicht gegeben. In folgender Tabelle sind die Messpunkte detailliert charakterisiert:

Punkt Nr.	Messorte	Sicht	Horizontaldistanz zur Antenne
8.1	Ebene 6, Zone 330 (Aufenthaltsbereich hinter den Tribünen)	ja	ca. 5 m
8.2	Ebene 6, Zone 330 (Tribünenbereich)	ja	ca. 30 m
8.3	Ebene 5 (Flur vor Siemens-Lounge)	ja	ca. 3 m
8.4	Ebene 5 (T-Com-Lounge)	nein	ca. 2 m

Tabelle III.2.34: Szenario 8: Messpunkte in der Münchner Allianzarena

Folgendes Bild zeigt exemplarisch zwei der Messpunkte und die benachbarten Antennenstandorte:



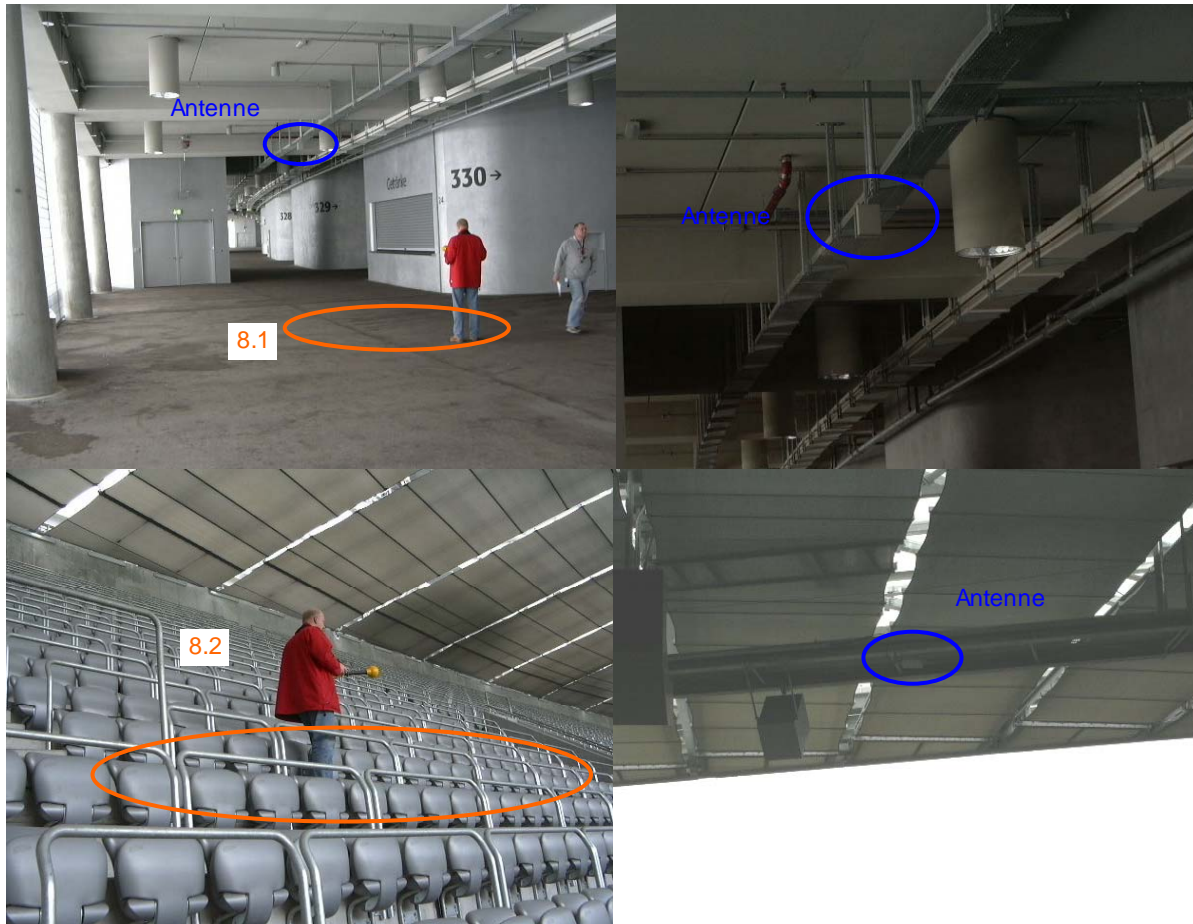


Bild III.2.40: Szenario 8: Messpunkt 8.1 (oben links) mit der jeweils nächsten GSM/UMTS-Dualbandantenne (blaue Markierung), Nahaufnahme der Antenne (oben rechts), Messpunkt 8.2 (unten links), Blick vom Messpunkt zur nächsten der GSM/UMTS-Dualbandantennen am Stadionsdach (unten rechts)

In folgender Tabelle ist zunächst nur die UMTS-Immission für die vier Punkte angegeben. Die Immission durch die GSM-Signale vom Standort wird anschließend in einer zweiten Tabelle dargestellt. Immissionen, verursacht durch benachbarte UMTS-Anlagen außerhalb des Stadions, waren an den Messpunkten von untergeordneter Bedeutung.

Punkt Nr.	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
8.1	1,17	1,92	3.648,2
8.2	0,50	0,81	651,5
8.3	4,44	7,27	52.214,3
8.4	0,94	1,53	2.320,1

Tabelle III.2.35: Szenario 8: UMTS-Exposition

Punkt Nr.	Elektr. Feldstärke E in V/m *	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert nach 26. BImSchV **	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ***
8.1	2,66	5,25	18.720,4
8.2	1,40	2,80	5.193,4
8.3	5,03	9,66	67.197,6
8.4	0,84	1,64	1.866,8

Tabelle III.2.36: Szenario 8: GSM-Exposition.

\*: nach Formel III.2.2; \*\*: nach Formel III.2.3; \*\*\*: nach Formel III.2.4

An allen Messpunkten dominieren die Immissionen, verursacht durch die von den Antennen abgestrahlten GSM-Signale. Im Mittel erzeugt GSM an den vier Punkten etwa 5,5 dB höhere Immissionen als UMTS. Ein Grund dafür ist die Tatsache, dass die GSM-Signale mit größerer Maximalleistung abgestrahlt werden als UMTS.

In folgendem Bild sind die Resultate aus den obigen beiden Tabellen visualisiert. Zusätzlich zu den grenzwertbezogenen GSM- und UMTS-Immissionen ist auch eine Gesamtimmission aus beiden dargestellt, die nach Formel III.2.1 gebildet wurde.

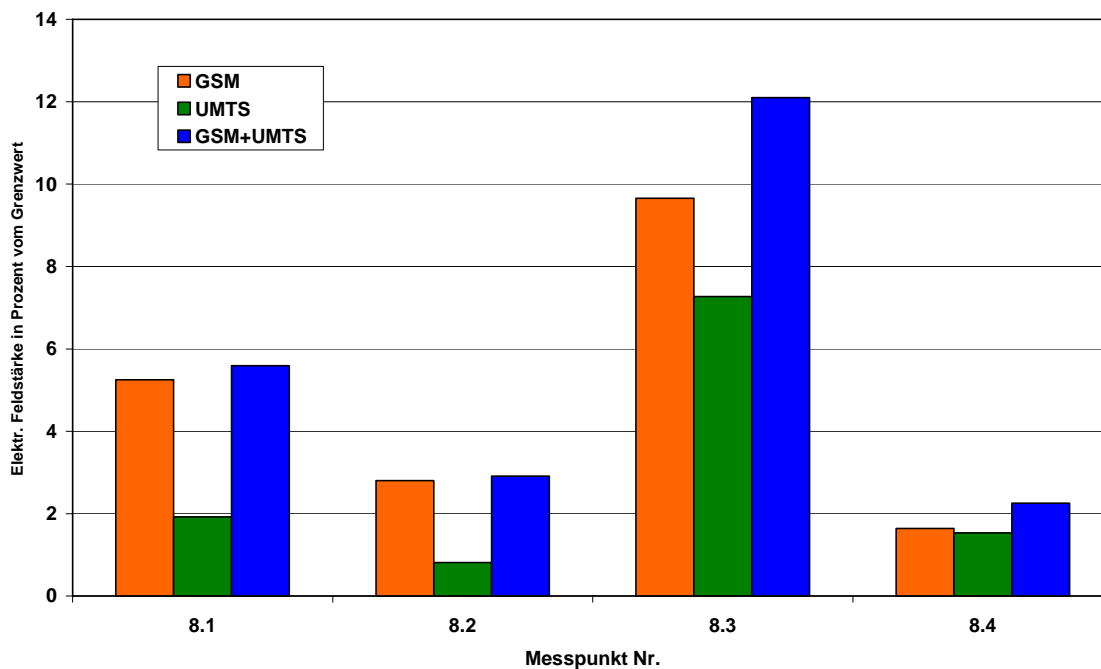


Bild III.2.41: Szenario 8: Grafische Darstellung der gemessenen Expositionswerte, verursacht durch die Antennen in der Münchner Allianzarena

An den betrachteten Punkten ergeben sich zum Teil sehr deutliche Unterschiede in der Exposition. Die größten Messwerte sind an den Punkten mit geringem Abstand zu den an den Decken montierten Antennen feststellbar (MP 8.1 und 8.3). Am MP 8.3 macht sich insbesondere die Tatsache bemerkbar, dass in diesem Flur die Decke wesentlich niedriger ist, als im Bereich von MP 8.1, so dass sich hier größere Immissionswerte ergeben. Im

Tribünenbereich des Stadions hingegen sind deutlich niedrigere Expositionswerte messbar, da hier der Abstand zu den Antennen am Stadiondach vergleichsweise groß ist. Auch am Messpunkt in der Lounge ergaben sich vergleichsweise niedrigere Feldstärkewerte, da offensichtlich von der Schlitzkabelversorgung nur sehr wenig Leistung abgegeben wird.

### III.2.9 Messehalle

Die Messungen in einer Messehalle wurden in der Halle 3 der Messe Düsseldorf durchgeführt. Für die Messungen wurden die Immissionen eines Betreibers gemessen, der die Halle sowohl mit GSM 900-, als auch mit UMTS-Signalen indoorversorgt und immissionsseitig die Gesamtbilanz dominiert. Während der Messungen fand in der Halle eine Messe statt.

Seitens des untersuchten Betreibers sind in der Halle an fünf Punkten Basisstationsantennen in etwa 6,5 Meter Höhe unter dem Hallendach montiert. Die Lage der Antennen sowie die Hauptstrahlrichtungen sind im folgenden Bild dargestellt. Durch diese Anordnung der Antennen ist eine weitgehend symmetrische Versorgung der Halle gewährleistet. Aus diesem Grunde wurden die sechs untersuchten Messpunkte nur in einen Quadranten gelegt. Die Messpunkte sind in Tabelle III.2.37 aufgelistet. Die angegebene Entfernungen bzw. Sichtverbindungen verstehen sich bezüglich der nächstgelegenen Sendeantenne.

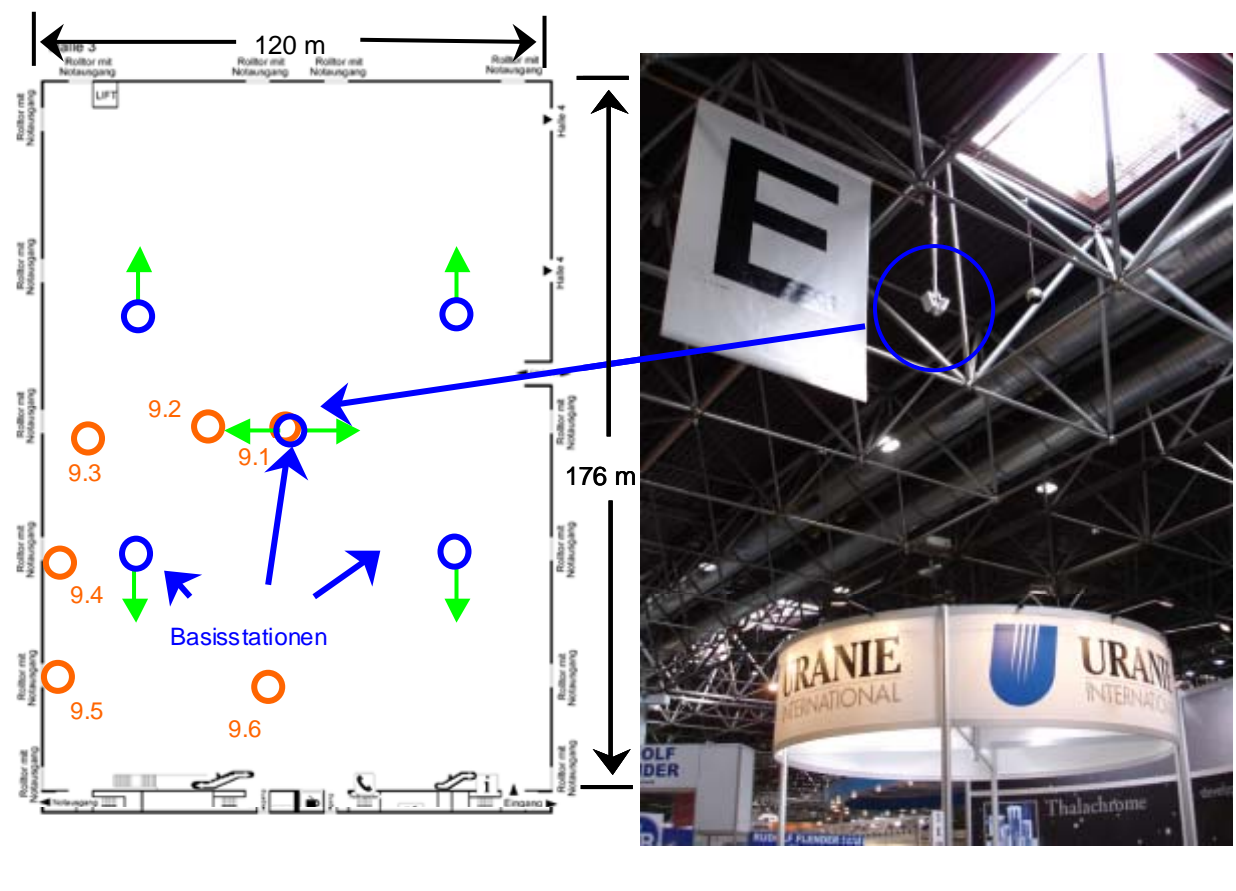


Bild III.2.42: Szenario 9: Lageplan mit Anlagenstandorten und Messpunkteverteilung. Im rechten Bild ist eine der in 6,5 m Höhe unter der Decke montierten Antennen zu sehen.

Punkt Nr.	Messort	Sicht	Horizontaldistanz zum Antennenstandort
9.1	direkt unter der zentralen Antenne	ja	2 m
9.2	20 m weiter westlich in Richtung des Rolltores	ja	20 m
9.3	46 m weiter westlich in Richtung des Rolltores	ja	46 m
9.4	vor Rolltor auf Höhe der beiden unteren Antennen	ja	19 m
9.5	vor dem weiter südlich gelegenen Rolltor	ja	36 m
9.6	an der linken Rolltreppe am südlichen Hallenende	ja	44 m

Tabelle III.2.37: Szenario 9: Messpunkte

In folgender Tabelle ist zunächst nur die UMTS-Immission für die sechs Punkte angegeben. Die Immission durch die GSM-Signale vom Standort wird anschließend in einer zweiten Tabelle dargestellt.

Punkt Nr.	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
9.1	0,69	1,13	1.258,1
9.2	1,00	1,64	2.661,9
9.3	0,80	1,30	1.680,8
9.4	0,22	0,36	127,4
9.5	0,14	0,23	54,3
9.6	0,46	0,76	562,8

Tabelle III.2.38: Szenario 9: UMTS-Exposition

Punkt Nr.	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (42 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
9.1	0,41	0,97	447,9
9.2	0,39	0,93	405,6
9.3	0,23	0,54	139,7
9.4	0,11	0,27	33,8
9.5	0,07	0,17	13,1
9.6	0,19	0,45	97,2

Tabelle III.2.39: Szenario 9: GSM-Exposition

In diesem Szenario dominieren an allen Messpunkten absolut und grenzwertbezogen die Immissionen durch das UMTS-System. Im Mittel sind die UMTS-Immissionen um etwa 7 dB größer als die GSM-Immissionen. Dies lässt sich in erster Linie aus der etwa um den Faktor 10 höheren installierten Sendeleistung bei UMTS begründen.

In folgendem Bild sind die Resultate aus den obigen beiden Tabellen visualisiert. Zusätzlich zu den grenzwertbezogenen GSM- und UMTS-Immissionen ist auch eine Gesamtimmission aus beiden dargestellt, die nach Formel III.2.1 gebildet wurde.

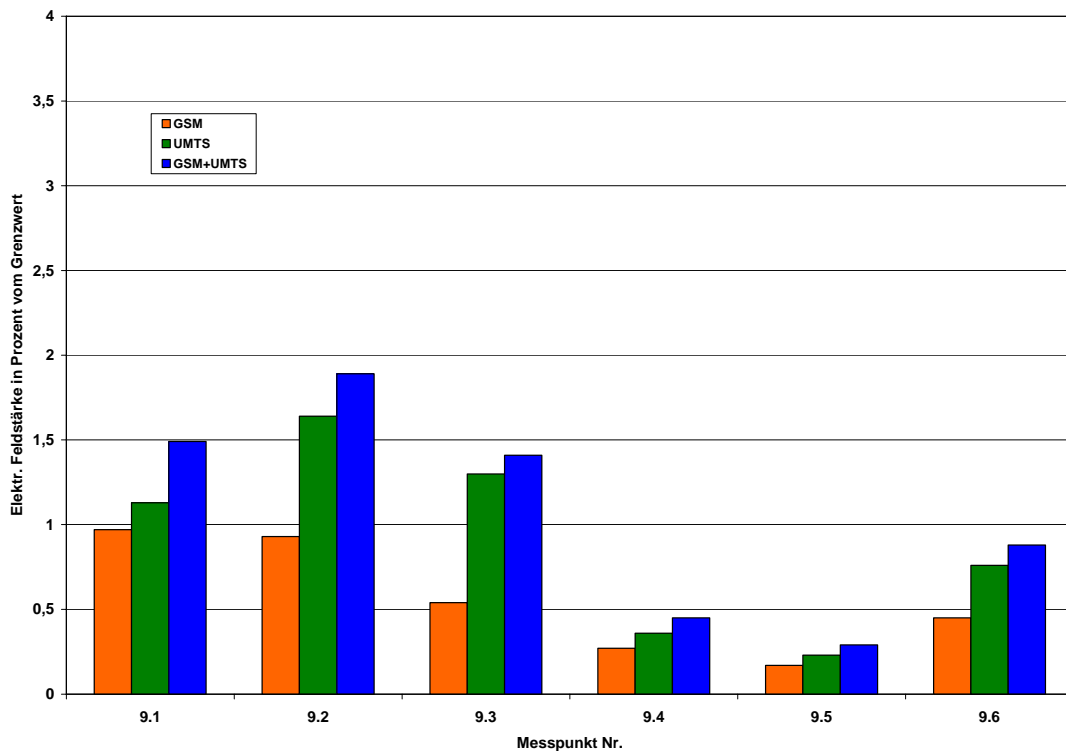


Bild III.2.43: Szenario 9: Grafische Darstellung der gemessenen Expositionswerte

Durch die spezifische Charakteristik der Versorgungszelle, d.h. Indoorversorgung, Abschirmung von anderen Outdoor-Versorgungszellen, waren Beiträge von UMTS-Anlagen außerhalb der Messehalle nicht messbar.

### III.2.10 Pikozone

Die Messungen zum Szenario Pikozone wurden ebenfalls auf dem Gelände der Messe Düsseldorf durchgeführt. Zwischen den Messehallen 3 und 4 befindet sich in etwa 6,5 Meter Höhe eine einsektorige Basisstation, von der ein GSM 900- und ein UMTS-Signal eines Betreibers abgestrahlt wird. Damit wird eine kleinzellige Versorgung des Messeaußenbereichs vor diesen beiden Hallen gewährleistet. Das Szenario ist in nachfolgendem Bild dokumentiert. Die Messpunkte verteilen sich entlang der Hallen 3 und 4 sowie auf dem freien Platz, der von den Hallen 1 bis 4 umschlossen wird. Die Auswahl wurde vorrangig nach dem Gesichtspunkt der Aufenthaltshäufigkeit der Messebesucher getroffen. Bild III.2.45 zeigt exemplarisch den Blick von drei Messpunkten auf die Anlage. Alle Messpunkte haben direkte Sicht zur Sendeantenne. Die Messungen wurden bei bedecktem, aber trockenem Wetter durchgeführt.

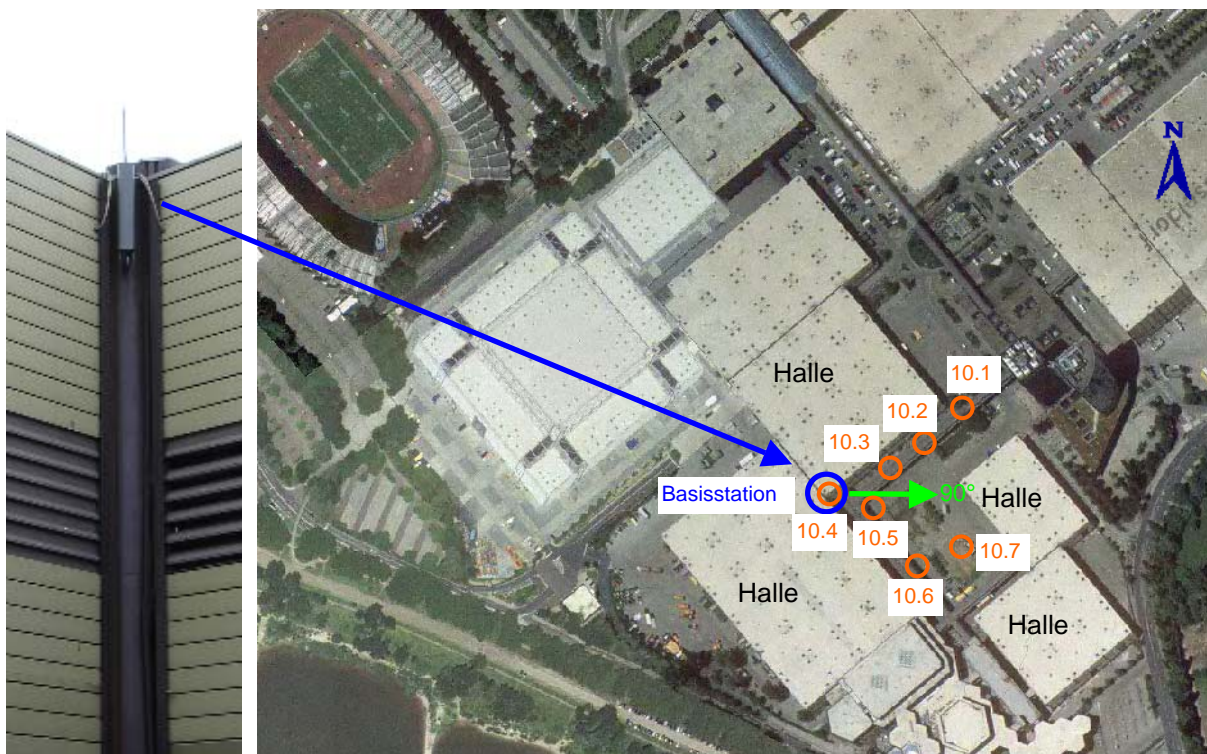


Bild III.2.44: Szenario 10: Lageplan mit Anlagenstandort und Messpunkteverteilung



Bild III.2.45: Szenario 10: Messpunkt 10.5 (links oben), Messpunkt 10.2 (links unten) und Messung unter der Antenne (Messpunkt 10.4), rechts

Punkt Nr.	Messort	Sicht	Horizontaldistanz zum Antennenstandort
10.1	östliches Ende von Halle 4	ja	107 m
10.2	zwischen Halle 4 und Halle 2 , siehe Bild	ja	90 m
10.3	zwischen Halle 4 und Halle 2 , siehe Bild	ja	64 m
10.4	direkt unter der Antenne	ja	0 m
10.5	im Winkel zwischen Halle 3 und Halle 4, in HSR	ja	19 m
10.6	an Halle 3, siehe Bild	ja	31 m
10.7	auf dem freien Platz zwischen den Hallen 1, 2, 3 und 4	ja	111 m

Tabelle III.2.40: Szenario 10: Messpunkte

In folgender Tabelle ist zunächst nur die UMTS-Immission für die sieben Punkte angegeben. Die Immission durch die GSM-Signale vom Standort wird anschließend in einer zweiten Tabelle dargestellt.

<b>Punkt Nr.</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in V/m</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV</b>	<b>Leistungsflussdichte S in <math>\mu\text{W}/\text{m}^2</math></b>
10.1	2,69	4,41	19.161,9
10.2	3,01	4,93	24.028,1
10.3	2,43	3,98	15.641,9
10.4	3,96	6,49	41.550,4
10.5	3,70	6,07	36.370,5
10.6	2,53	4,15	16.995,0
10.7	2,04	3,35	11.079,5

Tabelle III.2.41: Szenario 10: UMTS-Exposition

<b>Punkt Nr.</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in V/m</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (42 V/m) nach 26. BImSchV</b>	<b>Leistungsflussdichte S in <math>\mu\text{W}/\text{m}^2</math></b>
10.1	0,38	0,90	381,8
10.2	0,70	1,66	1.293,6
10.3	0,71	1,70	1.354,6
10.4	2,21	5,25	12.936,3
10.5	1,03	2,46	2.830,2
10.6	0,74	1,76	1.451,5
10.7	0,92	2,19	2.248,1

Tabelle III.2.42: Szenario 10: GSM-Exposition

In folgendem Bild sind die Resultate aus den obigen beiden Tabellen visualisiert. Zusätzlich zu den grenzwertbezogenen GSM- und UMTS-Immissionen ist auch eine Gesamtimmission aus beiden dargestellt, die nach Formel III.2.1 gebildet wurde.



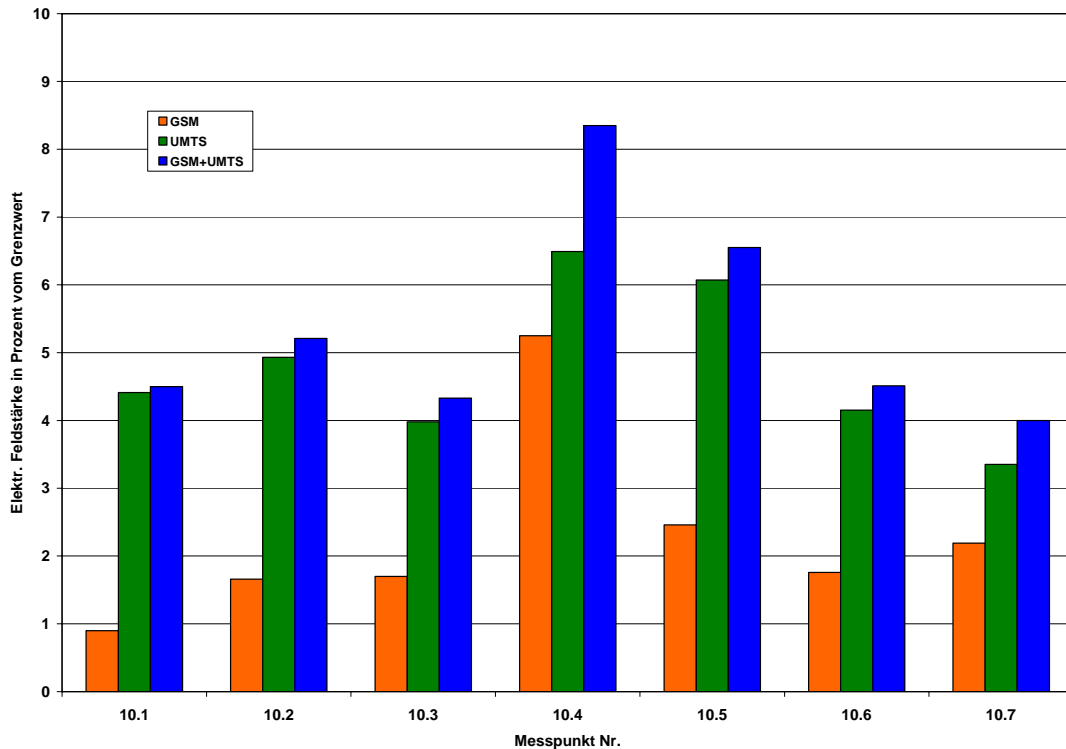


Bild III.2.46: Szenario 10: Grafische Darstellung der gemessenen Expositionswerte

In diesem Szenario dominieren an allen Messpunkten absolut und grenzwertbezogen die Immissionen durch das UMTS-System. Der mittlere Unterschied beträgt etwa 11 dB. Die deutliche Dominanz der UMTS-Immissionen könnte hier durch den relativ großen Downtilt des UMTS-Systems ( $8^\circ$  im Vergleich zum GSM-System mit  $0^\circ$ ) begründet sein, der dafür sorgt, dass der (stärker gebündelte) Hauptstrahl des UMTS-Systems schon nach relativ kurzer Entfernung auf den Erdboden auftrifft.

Lediglich an den Messpunkten 10.1 und 10.7 wurden auch Immissionen benachbarter UMTS-Stationen desselben Betreibers gemessen; ihr Verhältnis zur Immission durch die Anlage am Standort ist jedoch leistungsbezogen mit Werten zwischen 0,2 und 0,4 % nicht relevant.

### III.2.11 Messungen in einem Gebäude, auf dessen Dach UMTS-Antennen installiert sind

Das folgende Szenario ist repräsentativ für die Immissionsverhältnisse in einem Gebäude, auf dem eine UMTS-Anlage installiert ist. Für diese Untersuchung wird nochmals der bereits in Kapitel III.2.4 vorgestellte Standort (Antennen auf dem Dach eines Parkhauses im Innenstadtbereich) herangezogen. Zusätzlich zu den Messpunkten in der Umgebung des Standortes wurden auch Messungen im Inneren des Parkhauses durchgeführt. Die Verteilung der Messpunkte im Gebäude ist in folgendem Bild dargestellt.

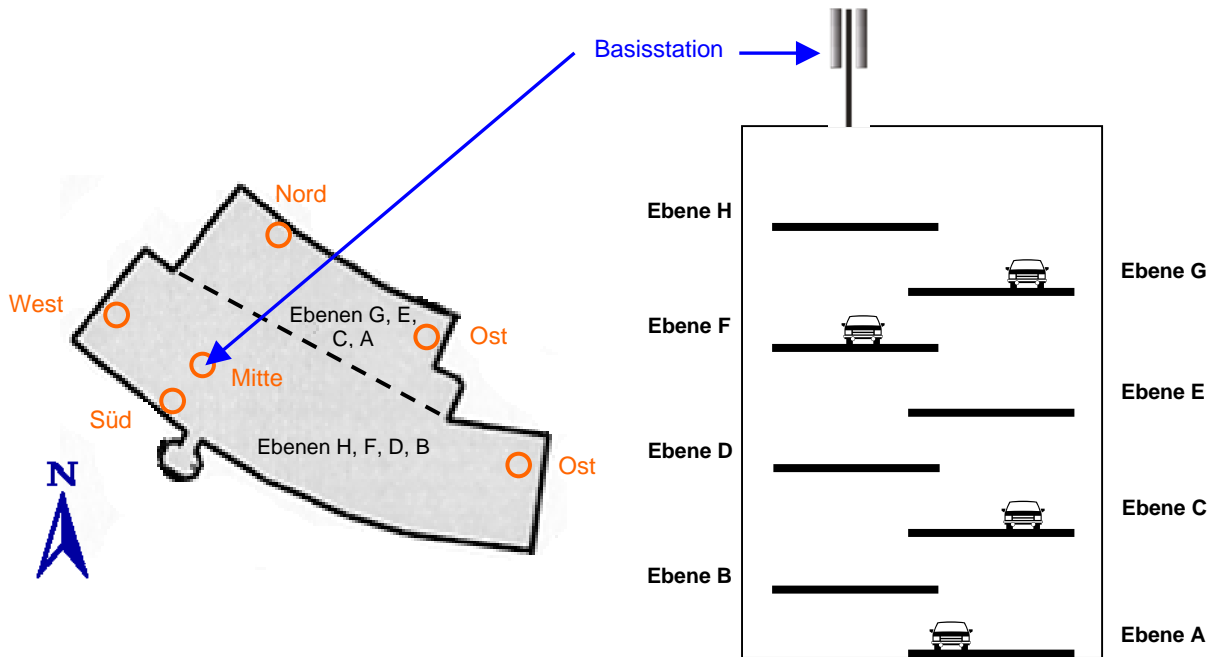


Bild III.2.47: Szenario 11: Verteilung der Messpunkte in den verschiedenen Stockwerken des Parkhauses

So weit nicht durch parkende Fahrzeuge oder andere örtliche Gegebenheiten verhindert, wurde in allen Stockwerken des Parkhauses an den oben beschriebenen Punkten gemessen. Folgendes Bild zeigt exemplarisch den Messpunkt in der obersten Ebene des Parkhauses, direkt unter den Antennen (Punkt 11.1). Die Entfernung zur Unterkante der Antennen betrug von diesem Punkt aus etwa 3,5 Meter.



Bild III.2.48: Szenario 11: Blick von außen nach Nordosten in die Parkebene H (links); Parkebene H mit Messpunkt "Mitte" direkt unterhalb der Antenne (rechts)

In folgender Tabelle ist zunächst nur die UMTS-Immission für die 20 untersuchten Punkte im Parkhaus angegeben. Die Immission durch die GSM-Signale vom Standort wird anschließend in einer zweiten Tabelle dargestellt.

<b>Punkt Nr.</b>	<b>Lage</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in V/m</b>	<b>Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV</b>	<b>Leistungsflussdichte S in <math>\mu\text{W}/\text{m}^2</math></b>
11.1	H_Mitte	0,19	0,31	93,6
11.2	H_West	0,36	0,59	343,2
11.3	H_Ost	0,54	0,88	763,5
11.4	H_Süd	0,16	0,27	70,5
11.5	G_Nord	0,08	0,13	16,7
11.6	G_Ost	0,06	0,10	9,2
11.7	F_Mitte	0,12	0,20	37,8
11.8	F_West	0,31	0,50	248,0
11.9	F_Ost	0,19	0,31	94,6
11.10	F_Süd	0,41	0,67	438,4
11.11	E_Nord	0,05	0,08	6,3
11.12	E_Ost	0,06	0,10	9,1
11.13	D_Ost	0,04	0,06	4,0
11.14	D_Mitte	0,02	0,03	1,1
11.15	D_West	0,07	0,12	14,0
11.16	D_Süd	0,02	0,03	0,7
11.17	C_Nord	0,06	0,10	10,2
11.18	C_Ost	0,03	0,05	2,2
11.19	B_Mitte	0,007	0,01	0,1
11.20	B_West	0,006	0,01	0,1
11.21	B_Süd	0,01	0,02	0,3
11.22	A_Nord	0,03	0,04	1,9
11.23	A_Ost	0,04	0,07	4,4

Tabelle III.2.43: Szenario 11: UMTS-Exposition

Punkt Nr.	Lage	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (42 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
11.1	H_Mitte	0,33	0,78	287,4
11.2	H_West	0,38	0,90	384,3
11.3	H_Ost	0,96	2,26	2.427,3
11.4	H_Süd	0,51	1,21	695,4
11.5	G_Nord	0,18	0,43	88,9
11.6	G_Ost	0,21	0,50	119,4
11.7	F_Mitte	0,11	0,26	31,6
11.8	F_West	0,54	1,27	773,1
11.9	F_Ost	0,90	2,11	2.126,0
11.10	F_Süd	0,22	0,53	132,2
11.11	E_Nord	0,11	0,26	32,6
11.12	E_Ost	0,22	0,51	125,5
11.13	D_Ost	0,46	1,09	566,0
11.14	D_Mitte	0,05	0,12	7,0
11.15	D_West	0,12	0,27	35,3
11.16	D_Süd	0,03	0,08	3,2
11.17	C_Nord	0,14	0,32	48,9
11.18	C_Ost	0,07	0,17	13,3
11.19	B_Mitte	0,01	0,02	0,3
11.20	B_West	0,02	0,04	0,8
11.21	B_Süd	0,01	0,02	0,2
11.22	A_Nord	0,05	0,12	7,1
11.23	A_Ost	0,07	0,17	13,3

Tabelle III.2.44: Szenario 11: GSM-Exposition

An 22 der 23 Messpunkte dominieren die Immissionen, verursacht durch die von den Antennen abgestrahlten GSM-Signale. Im Mittel erzeugt GSM an den 23 Punkten etwa 9,4 dB höhere Immissionen als UMTS. Damit deckt sich der Unterschiedsfaktor zwischen GSM und

UMTS nahezu mit dem Wert, der bei den Außenmesspunkten dieses Standortes gefunden wurde (siehe III.2.4).

In folgendem Bild sind die Resultate aus den obigen beiden Tabellen visualisiert. Zusätzlich zu den grenzwertbezogenen GSM- und UMTS-Immissionen ist auch eine Gesamtimmission aus beiden dargestellt, die nach Formel III.2.1 gebildet wurde.

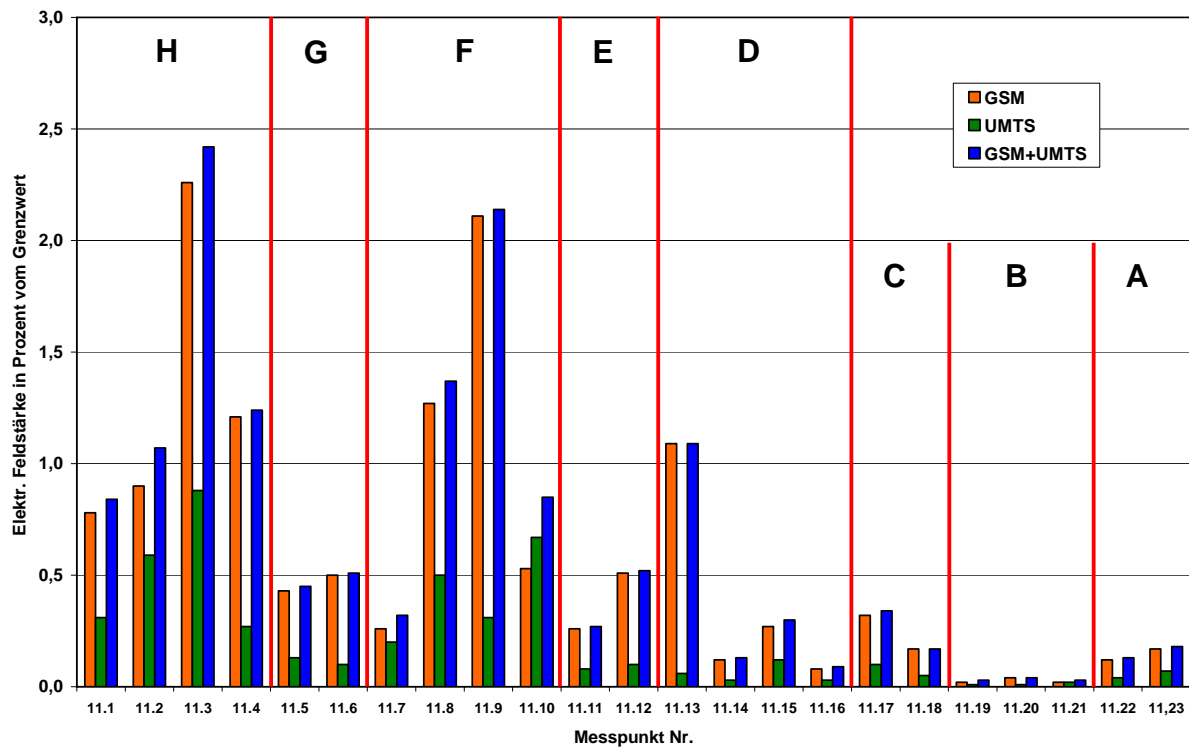


Bild III.2.49: Szenario 11: Grafische Darstellung der gemessenen Expositionswerte. Die vertikalen Linien unterteilen die einzelnen Stockwerke (oberstes Geschoss: links)

Im Inneren des Parkhauses sind also sehr unterschiedliche Expositionswerte feststellbar. Zwischen dem größten und dem kleinsten Messwert besteht eine Differenz von nahezu 40 dB. Auch der Trend zu im Mittel niedrigeren Messwerten in den unteren Geschossen ist zu sehen, allerdings mit einigen Ausnahmen. Diese sind darin begründet, dass insbesondere an den Messpunkten "Ost" und "West" teilweise keine geschlossenen Gebäudeaußenmauern, sondern große Fenster vorhanden sind (siehe Bild III.2.48), was das Eindringen von in der Umgebung reflektierten Signalen begünstigt, so dass die dort feststellbaren Immissionen teilweise höher ausfallen, als in höheren Geschossen in der Gebäudemitte.

Die Messungen verdeutlichen somit die häufig zu beobachtende Tatsache, dass die größten Expositionswerte innerhalb von Gebäuden nicht unbedingt an dem Punkt mit kürzestem Abstand zu den Antennen (Punkt 11.1) auftreten müssen.

Am deutlichsten wird die Immissionsabnahme in den unteren Geschossen, wenn man nur die Messpunkte "Mitte" vergleicht:

Punkt Nr.	Lage	Elektr. Feldstärke E in V/m	Elektr. Feldstärke E in % vom Grenzwert (61 V/m) nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
11.1	H_Mitte	0,19	0,31	93,6
11.7	F_Mitte	0,12	0,20	37,8
11.14	D_Mitte	0,02	0,03	1,1
11.19	B_Mitte	0,007	0,01	0,1

Tabelle III.2.45: Szenario 11: UMTS-Exposition direkt unterhalb des Antennenstandortes

Hier ist der Trend zu niedrigerer Immission in den unteren Stockwerken mit weniger verzerrenden Einflüssen durch Reflexionen zu beobachten. Die Unterschiedsfaktoren betragen etwa 4 dB (zwischen Ebene H und F), 15 dB (zwischen Ebene F und D) bzw. 10 dB (zwischen Ebene D und B):

Absolut gesehen, treten im Gebäudeinneren deutlich geringere Immissionswerte auf, als in der Umgebung des Standortes. Vergleicht man die mittlere Summenleistungsflussdichte an den acht Außenmesspunkten dieses Standortes (Abschnitt III.2.4) mit dem Mittelwert an den 23 Innenmesspunkten, so ergibt sich ein Unterschiedsfaktor von etwa 20 dB. Sieben der acht Messpunkte im Freien liefern höhere Expositionswerte als der größte Messwert im Gebäude (Punkt 11.3).

### III.3 Untersuchung von Einflussfaktoren für die Größe der Immission

Im Rahmen der hier durchgeführten Messungen wurden bei den einzelnen Szenarien teilweise sehr unterschiedliche Expositionswerte gefunden, auch beim Vergleich der Szenarien untereinander kann man feststellen, dass sich im Mittel zum Teil deutliche Immissionsunterschiede ergeben, wie aus folgendem Bild nochmals deutlich wird.

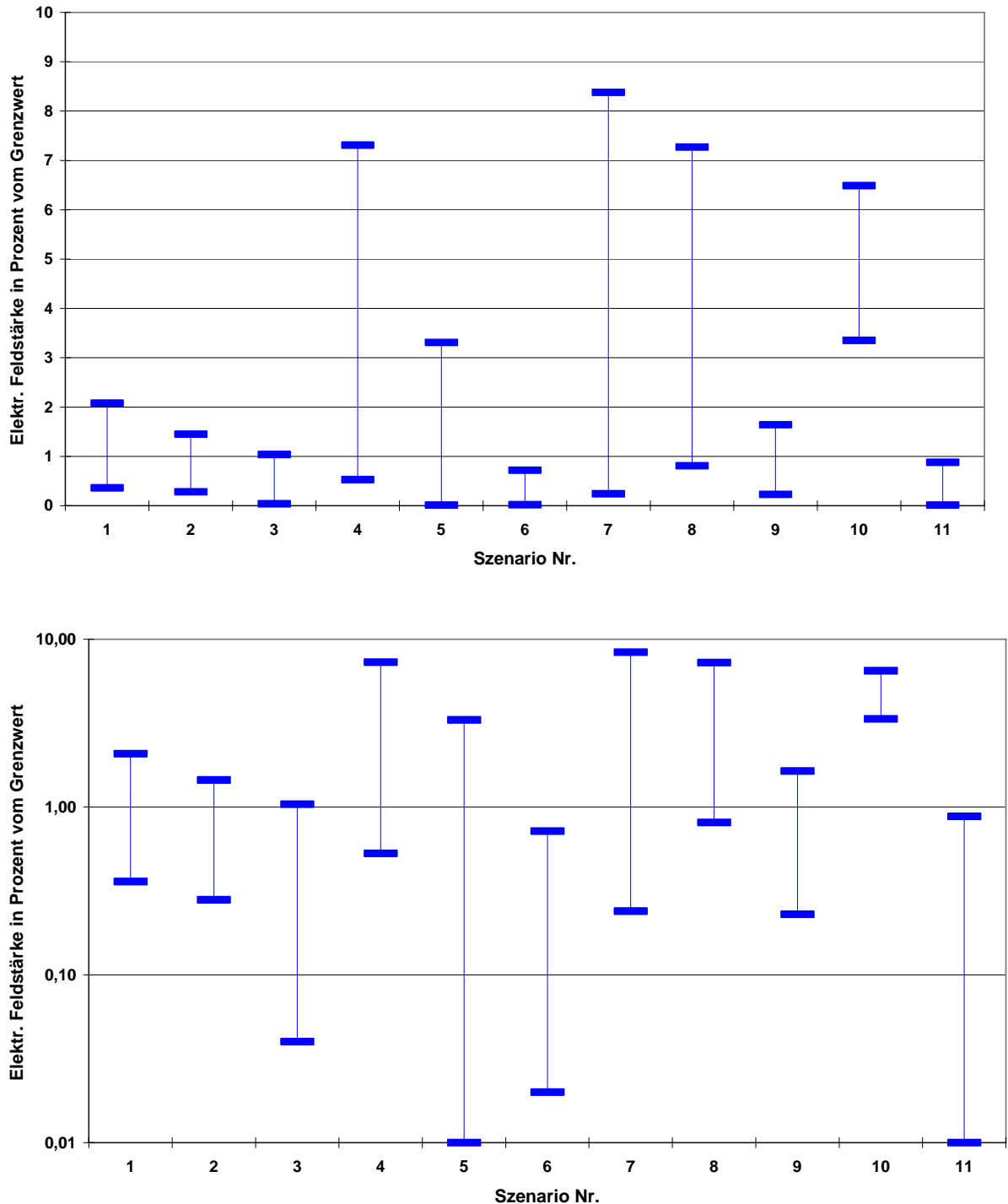


Bild III.3.1: Zusammenfassende Darstellung der in den elf untersuchten Szenarien gemessenen Expositionswerte (in linearer und logarithmischer Darstellung)

Obige Bilder zeigen allerdings deutlich, dass aus der Größe der Versorgungszelle und der damit verbundenen Sendeleistung keinesfalls Rückschlüsse auf die entstehende Exposition gezogen werden können. Die größten Messwerte ergaben sich in kleinzelligen Szenarien, die zwar mit geringerer Sendeleistung als typische Dach- und Maststandorte betrieben werden (Indoorversorgungen: Szenarien 7 und 8), bei denen allerdings an Decken montierte Antennen eingesetzt werden, was einen geringen Abstand zu Aufenthaltsbereichen von Personen bewirkt. Ähnliches beobachtet man bei Zellen mit niedrig montierten Antennen (Szenarien 4 und 10).

Sind die Antennen im Vergleich zur Umgebung sehr hoch montiert, ergeben sich meist geringere Expositionswerte. Besonders auffällig ist dieser Effekt offensichtlich bei den UHS-Standorten (Szenario 6), die zwar eine sehr große Versorgungsfläche abdecken und dafür auch eine größere Summenleistung abstrahlen, im Rahmen dieser Untersuchung dennoch die niedrigsten Expositionswerte liefern. Vom Standpunkt der Immissionsminimierung aus gesehen sind also derartige Standortkonzepte durchaus zu begrüßen. Allerdings muss angemerkt werden, dass im Rahmen dieses Projektes keine Bewertung des UHS-Konzeptes bezüglich der Versorgungsgüte im Vergleich zu konventionellen Standortkonzepten durchgeführt wurde.

Ebenfalls vergleichsweise sehr niedrige Expositionswerte fanden sich im Inneren eines Gebäudes, auf dessen Dach Sendeantennen montiert waren (Szenario 11). Hier wurde offensichtlich das vertikale Bündelungsverhalten der Antennen sowie die starke Dämpfungswirkung der Betondecken (Es handelte sich bei dem Gebäude um ein Parkhaus) wirksam. Eine grundsätzliche Verallgemeinerung dieses Ergebnisses auf alle Arten von Gebäuden sollte allerdings unterbleiben, da nicht alle Dächer gute Schirmdämpfungswerte besitzen (stark abhängig vom Baumaterial und vorhandenen Öffnungen, wie z.B. Dachfenster oder Lichtschächte). Übertragbar erscheint uns allerdings das hier gefundene Ergebnis auf Hochhäuser mit Mobilfunkantennen auf dem Dach zumindest für alle Stockwerke außer dem obersten Geschoss, bei dem im Fall einer gut dämpfenden Deckenstruktur ebenfalls sehr niedrige Messwerte auftreten können (in der Größenordnung von ein Prozent des Feldstärke-Grenzwertes oder weniger), in anderen Fällen jedoch auch etwas höhere bis in den Bereich von etwa fünf bis zehn Prozent vom Grenzwert (vgl. [BOR 04]).

In diesem Abschnitt soll nun noch der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Größe der Immission näher untersucht werden. Im wesentlichen sind es die folgenden Einflussfaktoren, die entweder nur von der Sendeanlage oder nur vom Empfangsort oder von beiden bestimmt werden:

#### Einflussfaktoren seitens der Mobilfunkanlage:

- gesamte Sendeleistung der Anlage (Anzahl der Netzbetreiber, Anzahl der Kanäle, Sendeleistung pro Kanal),
- Höhe der Sendeantennen über Grund,
- verwendete Antennentypen,



- Downtilt der Antennen,
- horizontale Ausrichtung der Antennen.

Einflussfaktoren seitens des Immissionsortes:

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

Von diesen Einflussfaktoren sollen hierbei der (laterale) Abstand zur Sendeanlage, der relative Höhenunterschied vom Messpunkt (MP) zur Sendeanlage sowie die Sichtverhältnisse (freie Sicht oder Sicht durch Hindernisse verdeckt) untersucht werden. Der relative Höhenunterschied wird hierbei durch den Vertikalwinkel charakterisiert, der (falls möglich) während der Messungen mit einem Winkelmesser mitprotokolliert wurde. Diese drei näher untersuchten Faktoren sind in Bild III.3.2 veranschaulicht.

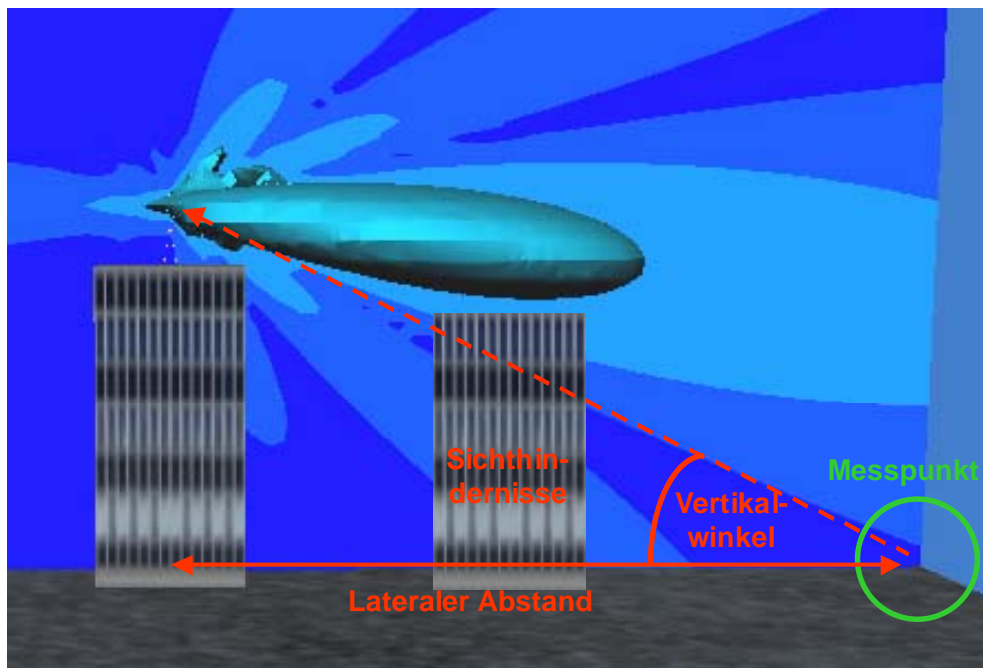


Bild III.3.2: Untersuchte Einflussfaktoren

Im folgenden soll überprüft werden, ob sich gewisse Gesetzmäßigkeiten in der Verteilung der Immission finden lassen. Insbesondere soll geprüft werden, ob die in [WUS 04] für GSM-Anlagen mittels einer deutlich größeren Messpunktanzahl (>1.000) erarbeiteten Gesetzmäßigkeiten tendenziell auch bei UMTS zu finden sind. Die im Folgenden dargestellten Expositionswerte sind immer als prozentuale Grenzwertausschöpfung bezüglich der elektrischen

Feldstärke für Vollausbau und Maximalauslastung der verursachenden UMTS-Sendeanlagen dargestellt.

### III.3.1 Allgemeine Eigenschaften der Messergebnisse

Bevor die Messergebnisse speziell bezüglich der oben genannten Einflussfaktoren ausgewertet werden, hier zunächst einige grundsätzliche Eigenschaften der an den 163 Punkten gefundenen Expositionswerte:

Die 163 Messpunkte können wie folgt charakterisiert werden:

Lage der Messpunkte	Davon mit Sicht zu Antennen	Davon ohne bzw. mit eingeschränkter Sicht zu Antennen
Indoor (56 Punkte)	25	31
Outdoor (107 Punkte)	86	21

Tabelle III.3.1: Eigenschaften der Messpunkte

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die gemessenen Maximal- bzw. Minimalimmissionen sowie die sich daraus ergebenden Spannweiten:

	Outdoor	Indoor
Maximalwert bei Sicht [% vom Feldstärkegrenzwert]	7,31	8,38
Maximalwert ohne Sicht [% vom Feldstärkegrenzwert]	0,34	1,53
Minimalwert bei Sicht [% vom Feldstärkegrenzwert]	0,11	0,04
Minimalwert ohne Sicht [% vom Feldstärkegrenzwert]	0,01	0,01
Spannweite [dB] bei Sicht	36,5	46,4
Spannweite [dB] ohne Sicht	30,6	43,7
Spannweite [dB] über alle Punkte	57,3	58,5

Tabelle III.3.2: Extremwerte der gemessenen Expositionen

Die Extremwerte liegen bei Indoor- und Outdoor-Messpunkten etwa in der gleichen Größenordnung. UMTS-Expositionen über zehn Prozent vom Grenzwert konnten im Rahmen der durchgeführten Messungen nicht gefunden werden. Die Spannweite der Exposition ist sehr groß, sie beträgt nahezu 60 dB.

Der überwiegende Teil der Messergebnisse lag bei weniger als einem Prozent vom Grenzwert. Statistische Mittelwerte sind in folgender Tabelle aufgelistet:

Statistischer Mittelwert	Alle Messpunkte	Outdoor	Indoor
Durchschnittliche Exposition [% vom Feldstärkegrenzwert]	2,20	1,77	2,85
Median [% vom Feldstärkegrenzwert]	0,72	0,72	0,72

Tabelle III.3.3: Durchschnittlicher Expositionswert und Median für Indoor- und Outdoormesspunkte

Bezüglich des Median zeigt sich kein Unterschied zwischen Indoor- und Outdoormesspunkten. Der durchschnittliche Expositionswert liegt allerdings knapp 10 dB über dem Median, was durch die stark unsymmetrische Verteilung der Messergebnisse bedingt ist. Diese ist in folgender Abbildung dargestellt:

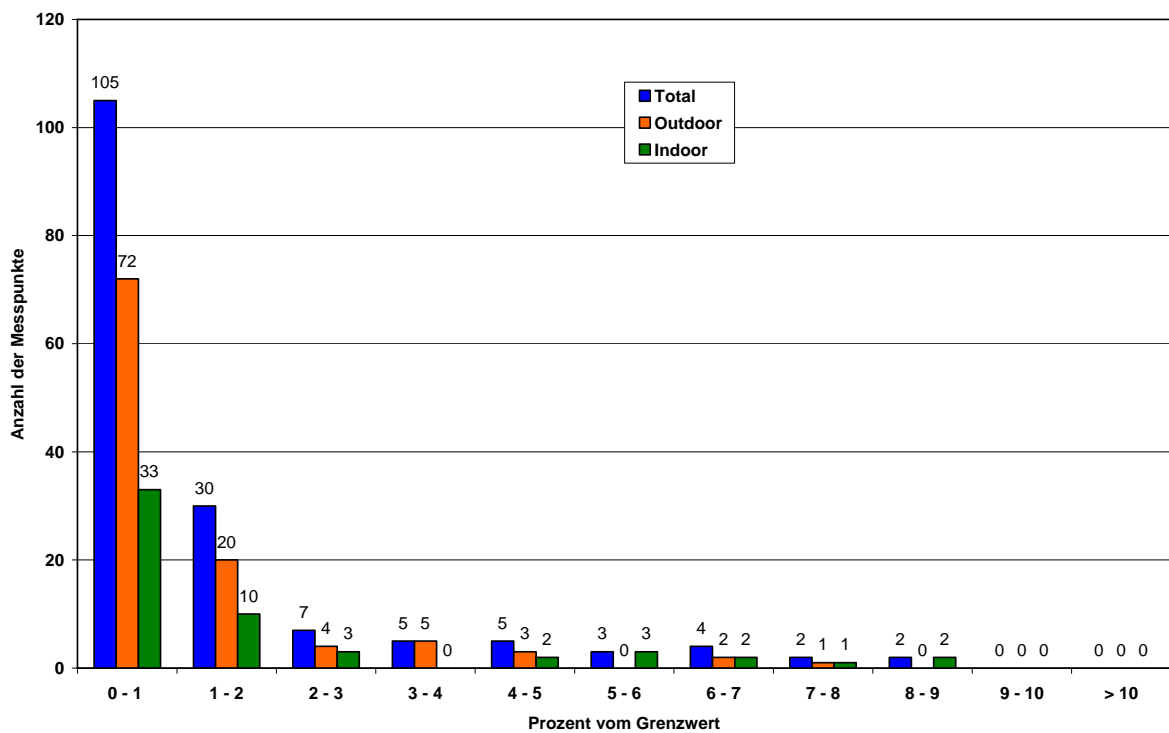


Bild III.3.3a: Verteilung der Messergebnisse, Absolutwerte

Da die Anzahl der Indoor- und Outdoor-Punkte unterschiedlich war, ist im nachfolgendem Diagramm die *relative Häufigkeit* der Verteilung der Messergebnisse in den einzelnen Expositionsklassen, d.h. prozentual bezogen auf die jeweilige Gesamtpunktzahl, dargestellt.

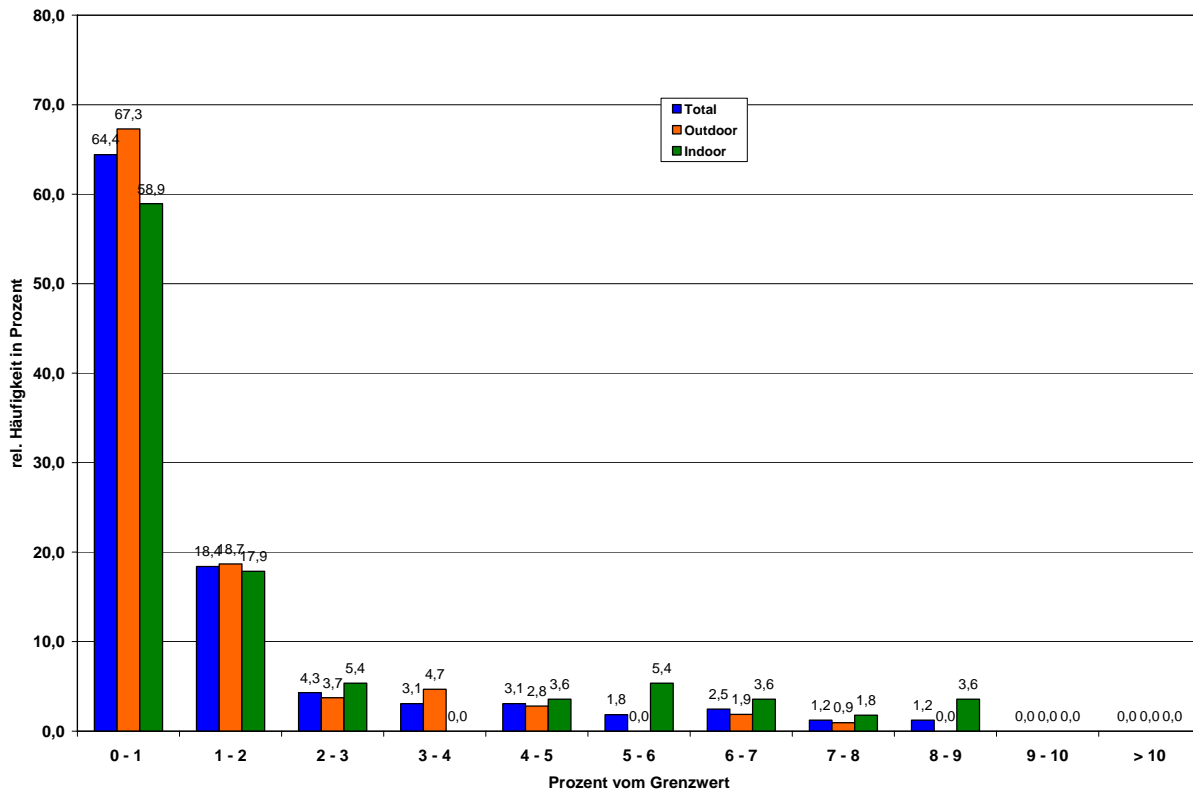


Bild III.3.3b: Verteilung der Messergebnisse, relative Häufigkeit

### III.3.2 Lateraler Abstand des Messpunktes zur Sendeanlage

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

Dazu wurde jeder Messpunkt (mit Sichtverbindung zur Antenne) als Funktion seines Abstandes von der die Immission am Messpunkt maßgeblich beeinflussenden Mobilfunkanlage in ein Diagramm eingetragen. Das Ergebnis ist in folgendem Bild dargestellt. Als Immission ist wieder die Grenzwertausschöpfung bezüglich der elektrischen Feldstärke dargestellt.

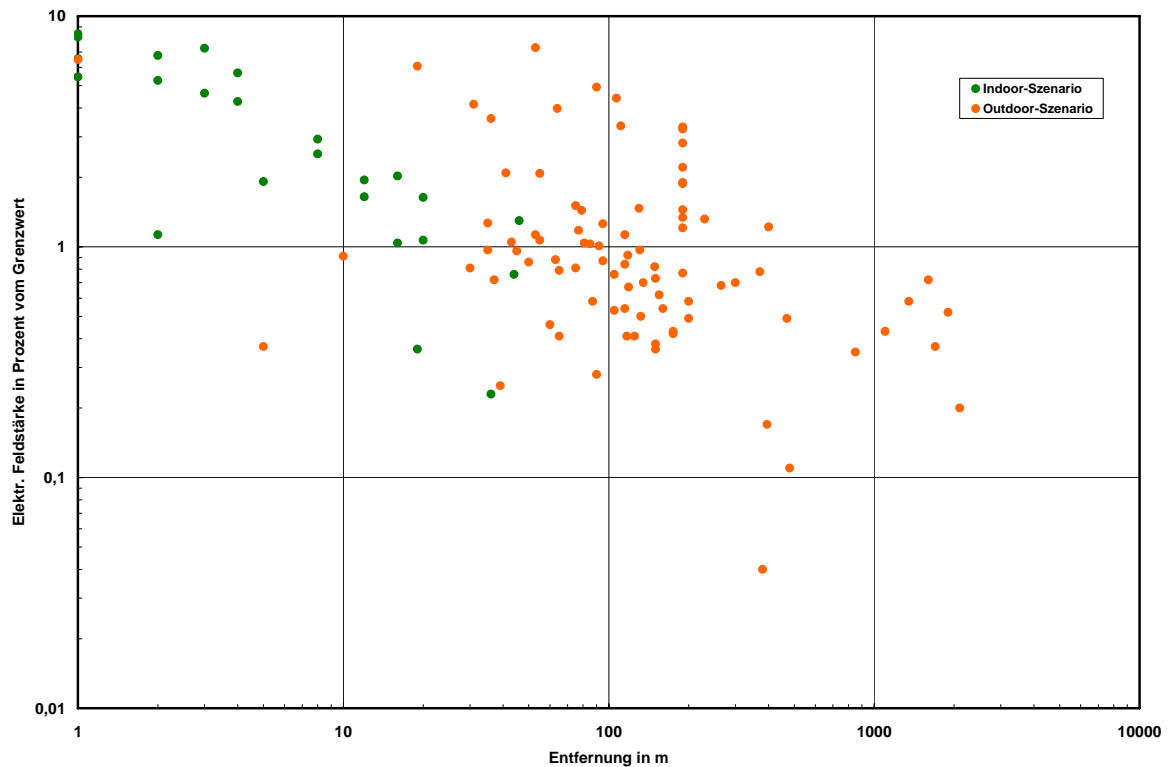


Bild III.3.4: Immission als Funktion des lateralen Abstands für die 111 Messpunkte mit Sichtverbindung zur UMTS-Antenne

Als Ergebnis wird deutlich, dass es bei den Messpunkten im unmittelbarem Umfeld einer outdoor montierten Basisstation (Entfernungen bis ca. einige hundert Meter) offenbar nicht gerechtfertigt ist, den Abstand als maßgebliches Kriterium für die Beurteilung der Immissionsgröße zu verwenden. Die höchsten Immissionen der Messreihe (über einem Prozent vom Grenzwert) finden sich beispielsweise sowohl bei sehr kurzen Abständen (unter 10 Meter) als auch in größerer Entfernung (über 100 Meter). Im Mittel ist zwar eine Abnahme der Exposition mit dem Abstand erkennbar, für eine bestimmte Entfernung beträgt die Spannweite der Exposition jedoch teilweise mehr als 20 dB. An den Messpunkten im Umfeld von indoor montierten Basisstationen hingegen ist ein deutlicher Trend zu niedrigeren Expositionswerten mit zunehmendem Abstand zu beobachten, bei gleichzeitig auch geringerer Streubreite.

Die Ursache für dieses Verhalten liegt in dem Umstand begründet, dass es sich bei Mobilfunkantennen nicht um isotrope (d.h. in alle Richtungen gleichmäßig abstrahlende) Antennen handelt, sondern um Richtantennen, die ihre Energie speziell in bestimmte Raumrichtungen verteilen. Bei den Messpunkten in den Indoor-Szenarien, die hauptsächlich von schwächer bündelnden Indoorantennen beeinflusst werden, ist weniger die Richtcharakteristik der Antennen von Bedeutung, als die durch die Entfernung bedingte Funkfelddämpfung.

### III.3.3 Einfluss des Vertikalwinkels

In folgendem Bild ist für alle 85 Outdoormesspunkte mit Sicht die Immission als Funktion des Vertikalwinkels dargestellt. Der Vertikalwinkel ist derjenige Winkel, unter dem man vom Messpunkt aus die Sendeanlage sieht. Geringe Vertikalwinkel bedeuten, dass sich Messpunkt und Anlage auf nahezu der selben Höhe befinden; bei großem Vertikalwinkel besteht zwischen Messpunkt und Sendeanlage ein großer Höhenunterschied. Negative Vertikalwinkel bedeuten, dass der Messpunkt höher liegt als die Antennen. Der Vertikalwinkel kann damit als Maß dafür dienen, ob der Messpunkt in Hauptstrahlrichtung (Vertikalwinkel im Bereich des Downtilts) oder außerhalb der Hauptstrahlrichtung liegt.

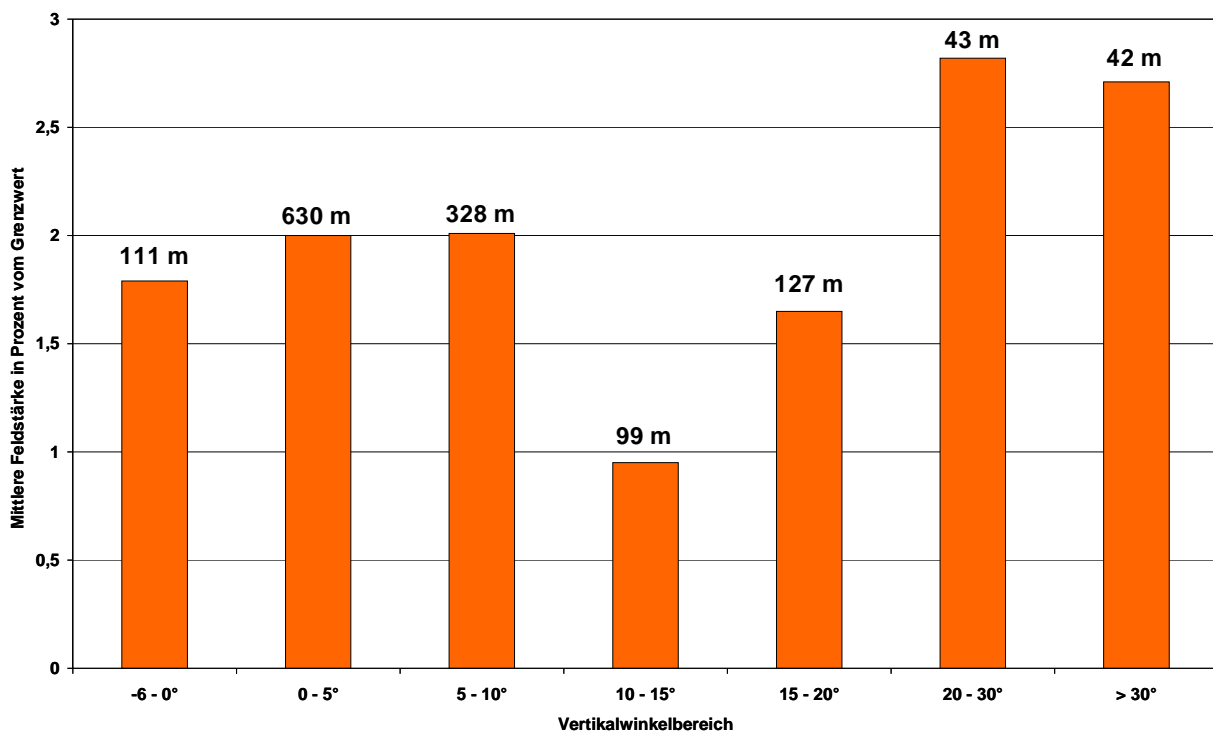


Bild III.3.5a: Immission als Funktion des Vertikalwinkels an Outdoormesspunkten mit Sicht. Über den Balken ist die mittlere Entfernung der Messpunkte zur Sendeanlage bei der jeweiligen Vertikalwinkelklasse angegeben.

In Bild III.3.5a ist die Immission jeweils gemittelt über verschiedene Vertikalwinkelbereiche angegeben. Die Angabe des Vertikalwinkels bezieht sich wiederum auf die vom Messpunkt aus zu sehende Mobilfunksendeanlage. Über den Balken ist die mittlere Entfernung der Messpunkte zur Sendeanlage (lateraler Abstand) bei der jeweiligen Vertikalwinkelklasse angegeben.

Hier ist auf den ersten Blick kein eindeutiger Trend ablesbar: Offensichtlich ergeben sich sowohl bei Messpunkten mit Vertikalwinkeln im Bereich üblicher Downtilts (einige Grad) als auch bei sehr großen Vertikalwinkeln höhere Immissionen als bei mittelgroßen Vertikalwinkeln. Betrachtet man allerdings zusätzlich die mittlere Entfernung der Messpunkte, so wird klar, dass der Vertikalwinkel offensichtlich durchaus einen deutlichen Einfluss auf die Größe der Exposition ausübt: Die mittleren Immissionen an Punkten mit Vertikalwinkeln zwischen 0 und 10 Grad sind nur geringfügig geringer als an den Punkten mit mehr als 20 Grad Verti-

kalwinkel, obwohl diese Punkte im Mittel um etwa den Faktor 10 weiter von den Antennenstandorten entfernt sind. Der vorhandene Einfluss des Vertikalwinkels wird hier also durch die offensichtlich noch zu geringe Messpunktanzahl überdeckt.

Deutlicher wird die Gesetzmäßigkeit, wenn man die Messergebnisse des Szenarios Nr.10 (Pikozelle im Außenbereich eines Messegeländes) nicht in die Auswertung mit einbezieht, da die dort betrachtete Antenne sehr niedrig montiert ist und zusätzlich sehr stark vertikal abgelenkt strahlt, so dass es sich hierbei nicht um einen typischen Standort, wie er zur Flächenversorgung eingesetzt wird, handelt. Folgendes Bild zeigt die mittleren Expositionswerte nochmals in Abhängigkeit der Winkelklasse:

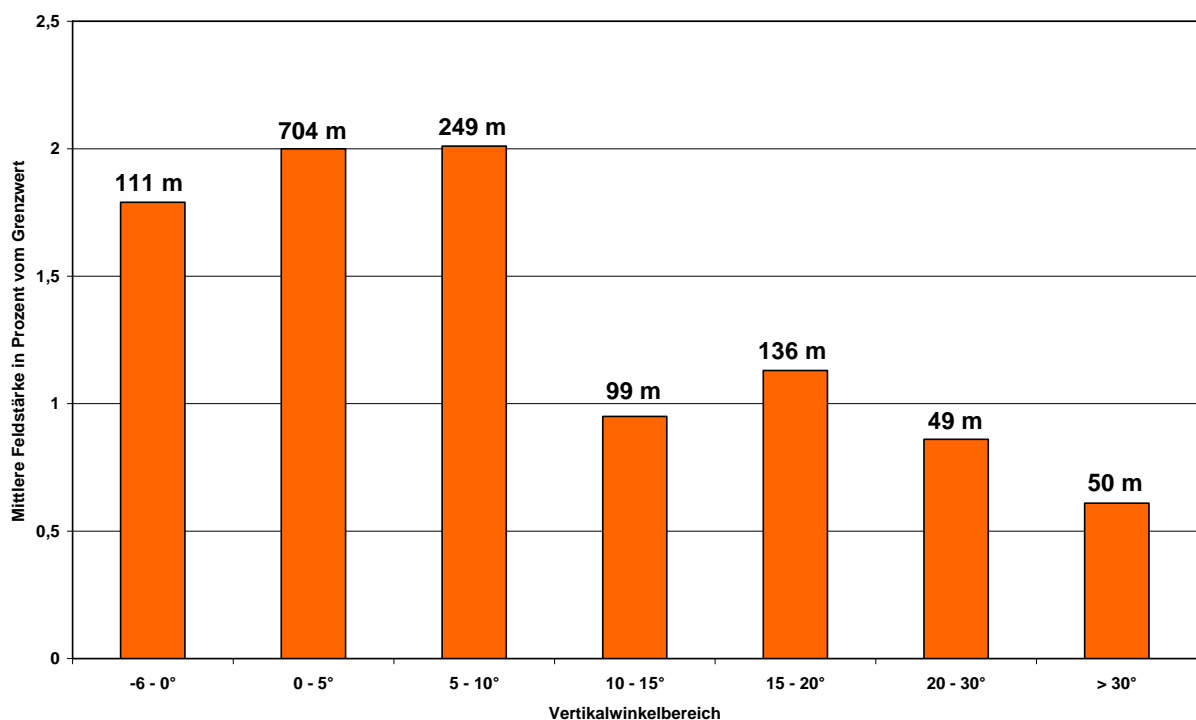


Bild III.3.5b: Immission als Funktion des Vertikalwinkels an Outdoormesspunkten mit Sicht (außer Punkte des Szenarios 10). Über den Balken ist die mittlere Entfernung der Messpunkte zur Sendeanlage bei der jeweiligen Vertikalwinkelklasse angegeben.

Nun ist deutlich zu erkennen, dass im hier betrachteten Entfernungsbereich an Messpunkten mit kleinem Vertikalwinkel im Mittel (trotz größerer Entfernung) höhere Messwerte auftreten, als an Punkten mit größerem Vertikalwinkel.

### III.3.4 Einfluss der Sichtverhältnisse

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

In Bild III.3.6 ist die entfernungsabhängige Immission zusätzlich als Funktion der Sichtverbindung zu der die Immission maßgeblich bestimmenden UMTS-Anlage dargestellt.

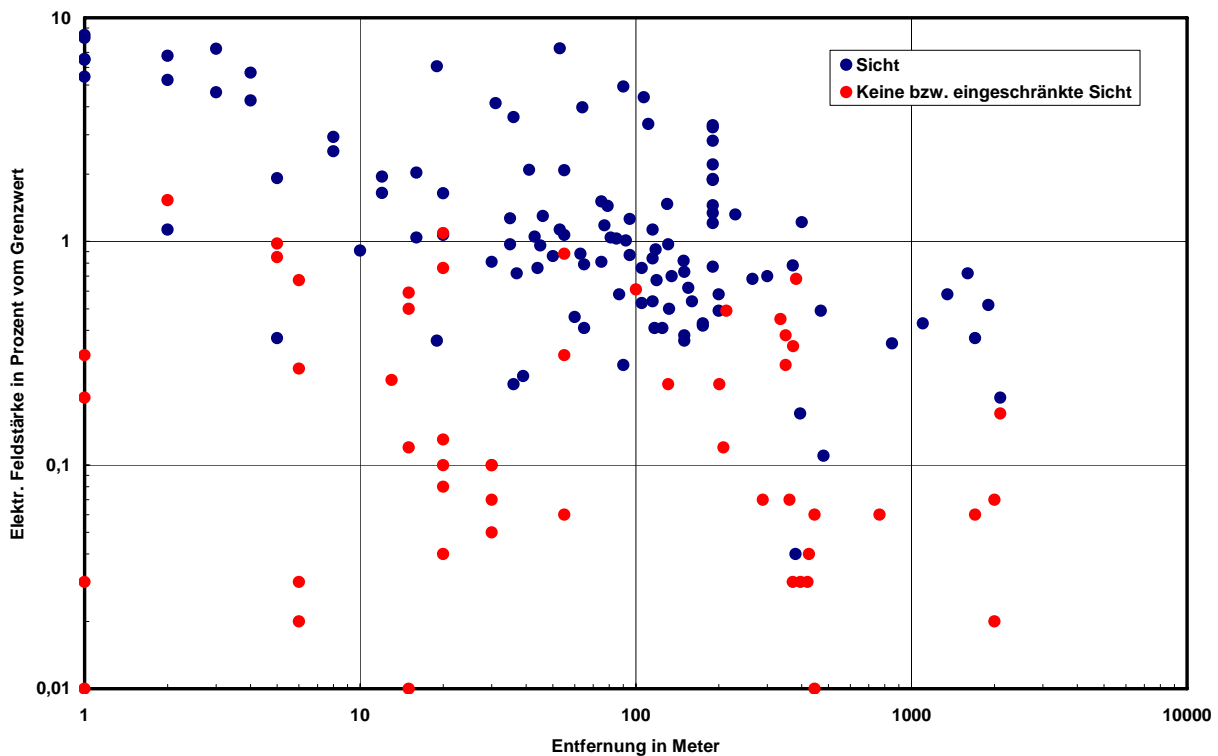


Bild III.3.6: Immission als Funktion der Sichtverhältnisse

Bei dieser Auswertung ist eine deutliche Tendenz dahingehend festzustellen, dass Messpunkte mit freien Sichtbedingungen im Mittel eine größere Immission aufweisen als Messpunkte, bei denen keine Sicht besteht. Bei freier Sicht ergibt sich ein Medianwert von 1,01 %, bei fehlender Sichtverbindung beträgt der Median hingegen nur noch 0,12 %, der Unterschied beträgt also etwa 18,5 dB.



### III.3.5 Fazit

Von den untersuchten Einflussfaktoren

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

ist der *Abstand* im unmittelbaren Umfeld der Anlage (bis zu einigen hundert Meter, abhängig von Montagehöhe und Downtilt) in Outdoor-Szenarien offenbar als Maß zur Quantifizierung der entstehenden UMTS-Exposition wenig geeignet. Grund dafür ist, dass in diesem Entfernungsbereich die Immission sehr stark durch die Nebenzipfel und Einzüge des stark bündelnden vertikalen Antennendiagramms geprägt ist und daher einen sehr unregelmäßigen Charakter aufweist. Bei Gebäuden mit Indoorversorgung ist hingegen eher eine Tendenz zur stetigen Abnahme der Exposition mit dem Abstand zu beobachten. Grund dafür ist hauptsächlich das weniger stark bündelnde Antennendiagramm der Indoorantennen und die Tatsache, dass im Indoorbereich geringere Unterschiede im Vertikalwinkel zwischen Antenne und Expositionsort auftreten.

Einen deutlichen Einfluss üben hingegen die Sichtverhältnisse aus: Objekte wie Gebäude, aber auch Bäume und Sträucher, bzw. Wände im Indoorbereich zwischen Messpunkt und Sendeanlage haben einen dämpfenden Einfluss, der sich erheblich in den Messergebnissen widerspiegelt. Die Immissionsreduzierung, die der Messpunkt erfährt, ist dabei abhängig von der Dämpfungswirkung des Objektes, aber auch von der Frage, inwieweit die Signale der Basisstation auch über Reflexionen z.B. an benachbarten Gebäuden oder Wänden zum Messpunkt gelangen können.

Der Einfluss des Vertikalwinkels konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht sehr deutlich herausgearbeitet werden, da die Anzahl und die Entfernungsstaffelung der Punkte dafür nicht ausreichend war. Bei Aussparung des Szenarios „Pikozelle“ ist jedoch deutlich zu erkennen, dass im hier betrachteten Entfernungsbereich an Messpunkten mit kleinem Vertikalwinkel (zwischen -6 und 10 Grad) im Mittel (trotz größerer Entfernung) höhere Messwerte auftreten, als an Punkten mit größerem Vertikalwinkel.

## III.4 Vergleich von UMTS- und GSM-Immissionen an kombinierten Anlagen

Im folgenden werden die in Kapitel III.2 für die einzelnen Szenarien detailliert vorgestellten Ergebnisse des Vergleichs zwischen UMTS- und GSM-Immissionen zusammengefasst und hinsichtlich möglicher Einflussfaktoren für die Dominanz des einen oder anderen Systems diskutiert. Wie bereits erläutert, wurden an 9 der 11 Szenarien zusätzlich zu den UMTS-Immissionen auch GSM-Immissionen messtechnisch erfasst, die vom selben Standort abgestrahlt werden. Für einen Vergleich der Immissionsanteile beider Funkssysteme stehen somit 126 Messpunkte zur Verfügung.

### III.4.1 Ergebnisse des Vergleichs an den unterschiedlichen Szenarien

In Bild III.4.1 ist der Vergleich der GSM- und UMTS-Immissionsanteile an allen relevanten Messpunkten hinsichtlich des *Grades der Ausschöpfung des Feldstärkegrenzwertes* der 26. BImSchV grafisch dargestellt. Aufgetragen sind die Immissionen bei maximaler betrieblicher Anlagenauslastung. *Grenzwertbezogen* dominieren an 107 der 126 Messpunkte die Immissionen durch GSM (85 %). An lediglich 15 Messpunkten dominieren die UMTS-Immissionen und an 4 Messpunkten sind die Immissionsanteile vergleichbar.

Da die Mehrzahl der gemessenen GSM-Immissionen von GSM 900-Systemen stammen und die Grenzwerte der 26. BImSchV für GSM 900 niedriger sind als für UMTS, ist in Bild III.4.2 der Vergleich zusätzlich bezüglich der *Absolutwerte der elektrischen Feldstärke* dargestellt. Absolut gesehen dominieren an 95 der 126 Messpunkte die Immissionen durch GSM (75 %). An 25 Messpunkten hingegen dominieren die UMTS-Immissionen und an 6 Messpunkten sind die Immissionen vergleichbar.

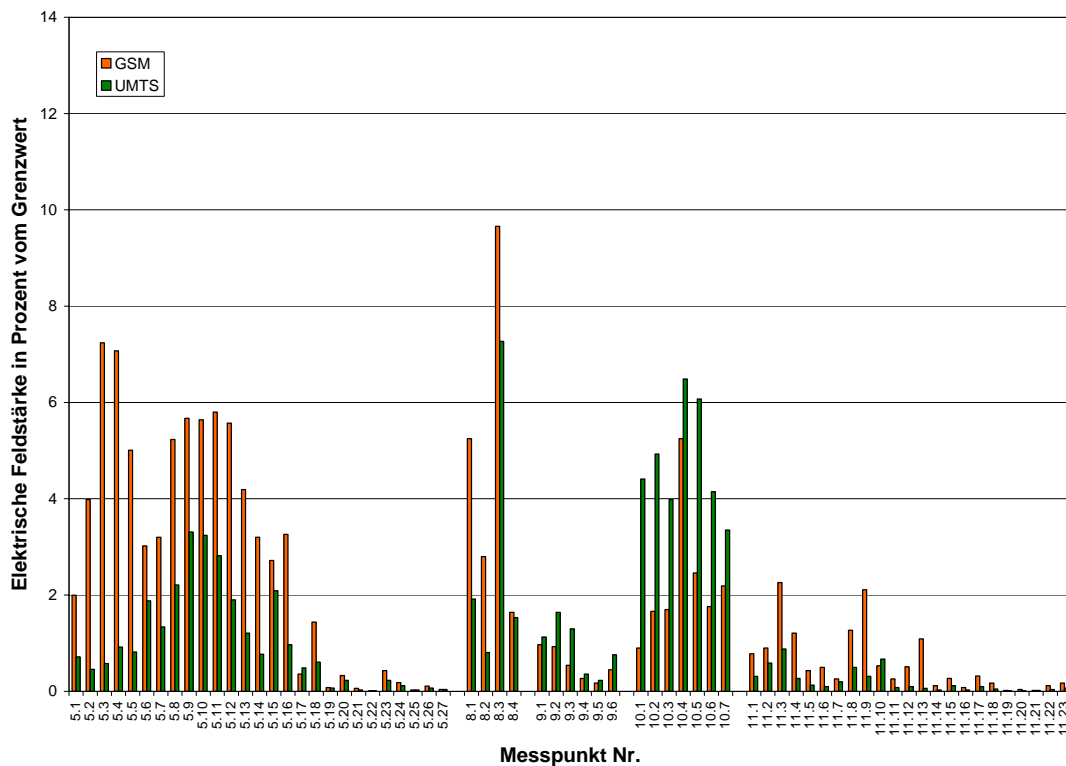
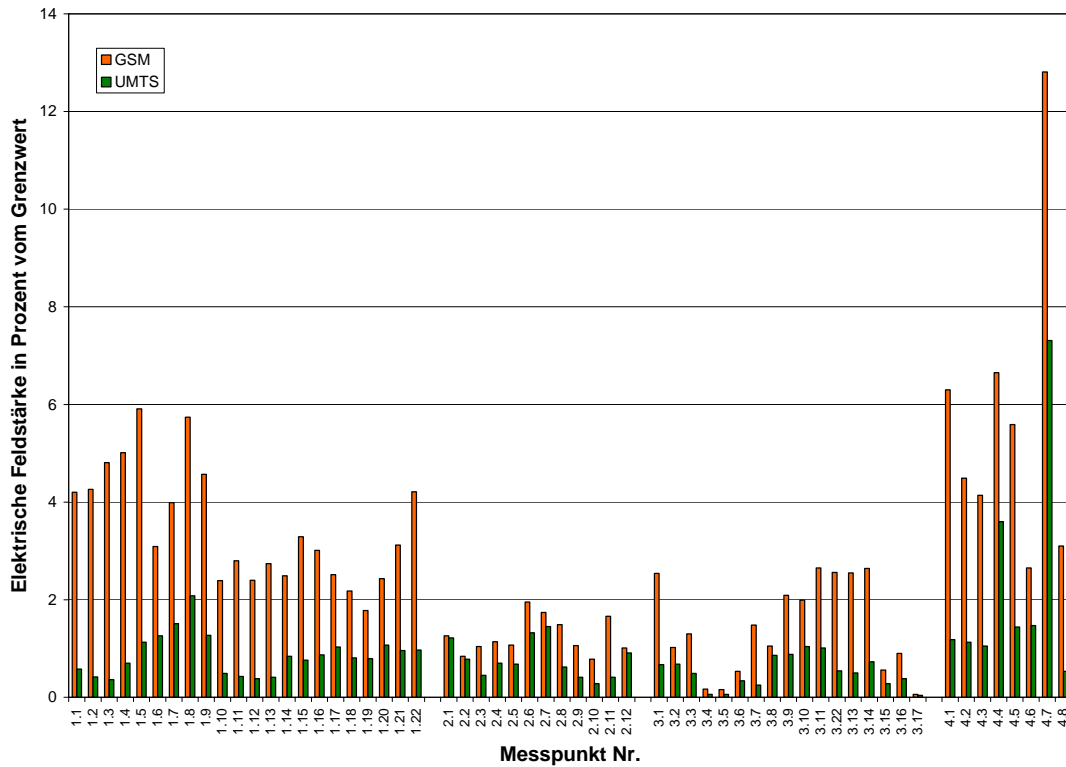


Bild III.4.1: Vergleich der GSM- und UMTS-Immissionen, prozentuale Grenzwertausschöpfung bezüglich der elektrischen Feldstärke

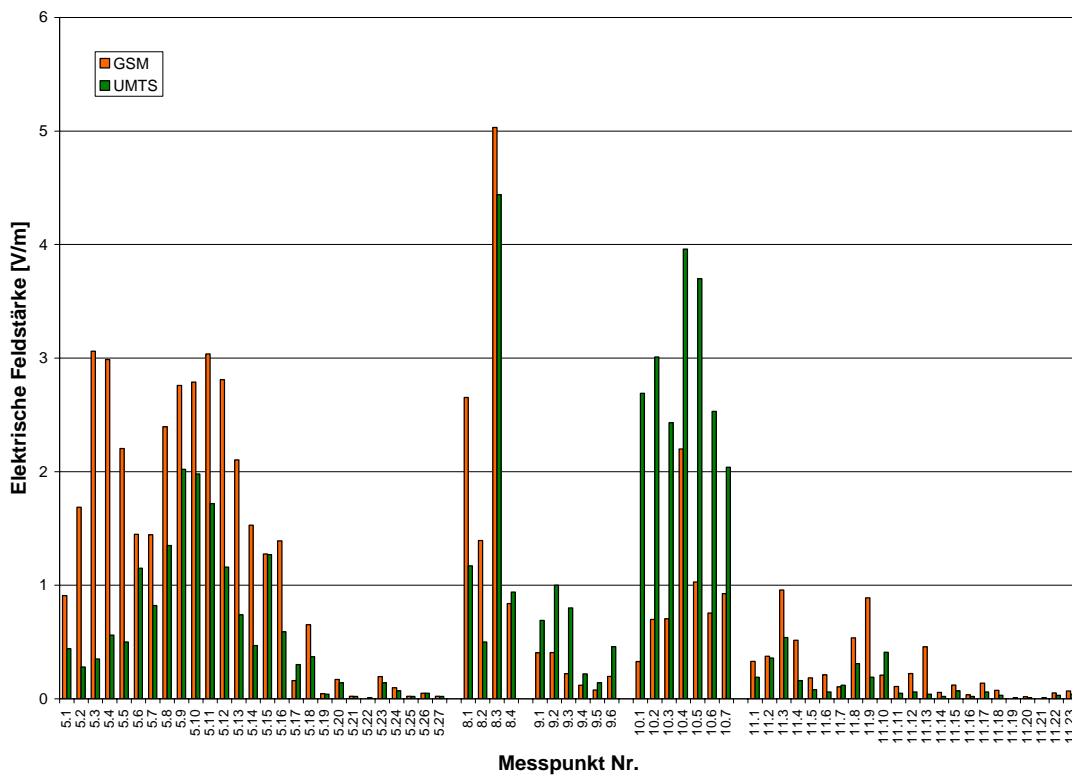
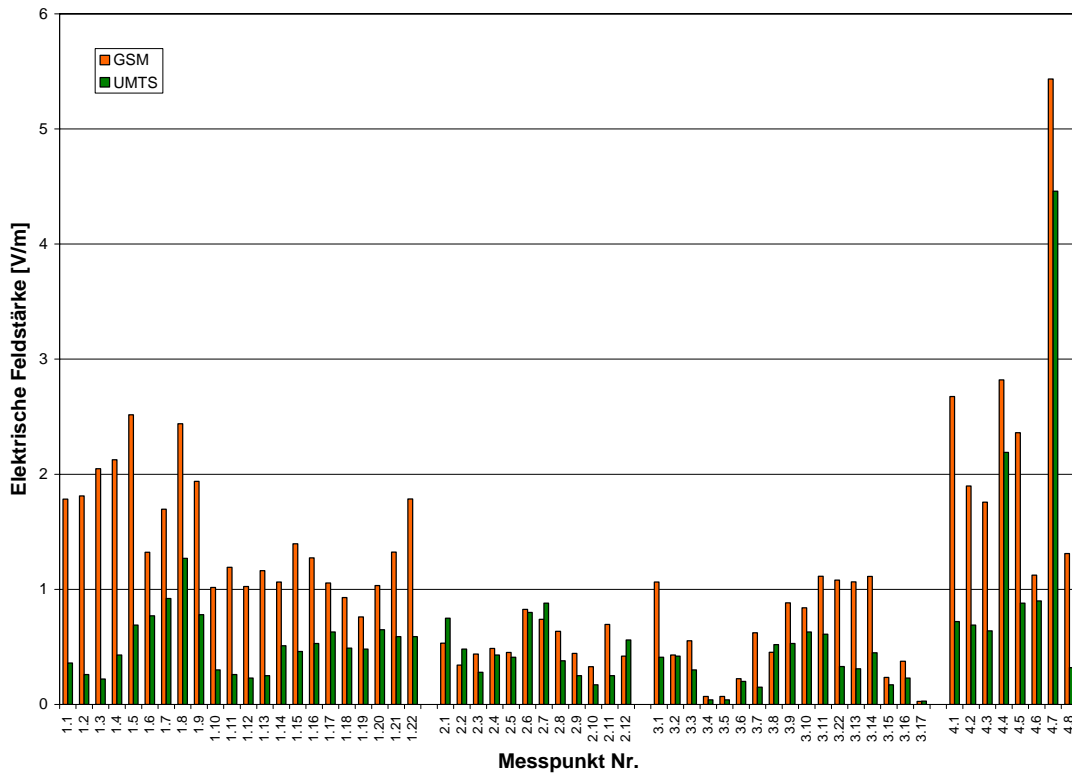


Bild III.4.2: Vergleich der GSM- und UMTS-Immissionen, Absolutwerte der elektrischen Feldstärke

## III.4.2 Diskussion der Ergebnisse

Für die deutliche Dominanz der GSM-Immissionen an den Messpunkten ist eine Vielzahl von Faktoren verantwortlich, die im Folgenden diskutiert werden. Alle Faktoren dürfen nicht isoliert betrachtet werden, sondern sind miteinander verzahnt. Die Tatsache der Dominanz der GSM- oder UMTS-Immissionen am konkreten Messpunkt ergibt sich somit als Überlagerung von mehreren verschiedenen Einzelfaktoren:

### 1. Aufgrund des geringeren Grenzwertes von GSM 900 ergibt sich bei gleichem Absolutwert der Immission eine höhere Grenzwertausschöpfung als bei UMTS

Die meisten der untersuchten Anlagen haben als GSM-System ein GSM 900-System installiert; dies bildet aufgrund der basisstationsseitigen Dominanz der GSM 900-Netzbetreiber die Realität ab. Bei GSM 900 beträgt der Feldstärkegrenzwert nach 26. BImSchV etwa 42 V/m, bei UMTS hingegen 61 V/m. Vergleicht man deswegen die GSM 900- und UMTS-Immissionen *grenzwertbezogen*, dann sind selbst bei gleichem Absolutwert die GSM 900-Immissionen immer um den Feldstärke-Faktor 1,4 größer als die UMTS-Immissionen. Bei einem Vergleich von GSM 1800 und UMTS hingegen fällt der Unterschied im Grenzwert mit 59 V/m zu 61 V/m wesentlich geringer aus.

### 2. Bei GSM (900)-Standorten ist oftmals eine größere Sendeleistung installiert als bei UMTS-Systemen

Dies führt zwangsläufig zu einer höheren Immission durch GSM als durch UMTS. Teilweise liegen die Unterschiede in den installierten Sendeleistungen in derselben Größenordnung wie die Unterschiede in den Absolutwerten der Immissionen. Im Szenario 1, Linienmessung zwischen den Sektoren, ist beispielsweise eine etwa 7 dB höhere GSM-Sendeleistung installiert; gemessen wurden im Mittel 8 dB höhere GSM-Immissionen (Absolutwerte). Im Szenario 2 liegen bei einem um 3 dB stärkeren GSM-System die GSM-Immissionen im Mittel 2 dB über den UMTS-Immissionen. Auch umgekehrt trifft dies zu; im Szenario 9 führen um 10 dB größere UMTS-Sendeleistungen im Mittel zu 7 dB höheren UMTS-Immissionen.

Allerdings reichen diese Unterschiede bezüglich der installierten Sendeleistung allein zum Erklären der Dominanz der GSM-Immissionen nicht aus, wie zum Beispiel die Szenarien 3 (1,8 dB höhere installierte Leistung GSM, 5 dB höhere absolute GSM-Immission) und 4/11 (3 dB höhere installierte Leistung GSM, 7 bzw. 9 dB höhere absolute GSM-Immission) zeigen.

### 3. GSM 1800 und UMTS-Immissionen zeigen teilweise ein ähnliches Verhalten

Dies tritt besonders in zwei der beim Szenario 5 untersuchten Konfigurationen zutage: Sowohl bei der Entfernungsabhängigkeit (MP 5.1 bis 5.6), als auch bei der innerstädtischen Anlage mit mehreren Betreibern (MP 5.15 bis 5.27) sind neben GSM 900- auch GSM 1800-Anlagen am Standort vertreten. Bild III.2.19 (Entfernungsabhängigkeit) zeigt beispielsweise zwischen GSM 900- und UMTS-Immissionen ein völlig konträres Verhalten bezüglich Form und Pegel des Immissionsverlaufs, die Immissionsverläufe von GSM 1800 und UMTS

hingegen liegen fast aufeinander. Ebenso verhält es sich bei der Detailauswertung des Betreibers 3 für die Anlage mit mehreren Betreibern (Bild III.2.26): Wohingegen bei den Betreibern 1 und 2 (jeweils GSM 900 und UMTS) die Immissionsanteile von GSM und UMTS an den Messpunkten stark differieren, sind die Immissionsanteile beim Betreiber 3 (GSM 1800 und UMTS) an vielen Messpunkten nahezu identisch.

Dieses ähnliche Verhalten scheint aber nicht generell vorhanden zu sein; detaillierte Untersuchungen bezüglich eines GSM 1800 / UMTS-Betreibers im Szenario 5 / Höhengschichtung (MP 5.7 bis 5.14) zeigen bezüglich der Pegel keine Ähnlichkeiten, ebenso wenig wie beim Szenario 5 / Anlage mit mehreren Betreibern, bei dem die Immissionen einer *benachbarten* GSM 1800- / UMTS-Anlage ebenfalls untersucht wurden.

#### 4. Die Abstrahlcharakteristik der Antennen hat einen entscheidenden Einfluss

Wie bereits in Kapitel III.3 herausgearbeitet wurde, ist die Orientierung eines Messpunktes zu (vertikalen) Hauptstrahlrichtung der Mobilfunkantenne von entscheidender Bedeutung für die Immission: Punkte, die in Hauptstrahlrichtung liegen, erfahren eine wesentlich größere Immission als Punkte außerhalb der Hauptstrahlrichtung bei vergleichbarer Entfernung.

Wie bereits in den Untersuchungen im zweiten Berichtsteil vorliegenden Untersuchungsvorhabens festgestellt wurde, weisen GSM 900-Antennen eine schwächere Bündelung und damit verbunden eine wesentlich breitere Hauptkeule auf als GSM 1800- und UMTS-Antennen (z.B. Bilder II.2.3 und II.2.5). Gut zu erkennen ist dies auch in der untersuchten Höhengschichtung im Szenario 5: In diesem Szenario waren zwei GSM 900- und ein GSM 1800-Betreiber jeweils mit GSM und UMTS vertreten. Aus Bild III.2.22 ist im Folgenden der Anteil eines GSM 900- / UMTS- und des GSM 1800- / UMTS-Betreibers extrahiert. Deutlich sieht man die breitere Hauptstrahlrichtung bei GSM 900 im Vergleich zu GSM 1800 bzw. zur Breite der UMTS-Hauptkeule.

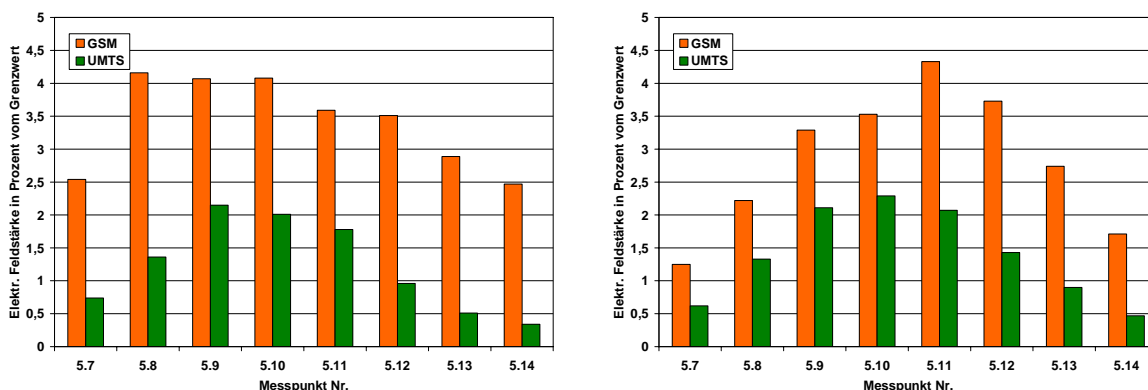


Bild III.4.3: Höhengschichtung im Szenario 5: Betreiber mit GSM 900 und UMTS (links) und Betreiber mit GSM 1800 und UMTS (rechts)

Allein durch die breitere Hauptkeule besteht somit für Messpunkte im Umfeld einer GSM 900-Station eine höhere Wahrscheinlichkeit, innerhalb der Hauptstrahlrichtung zu gelangen und somit eine höhere Immission zu erfahren als für Messpunkte im Umfeld einer UMTS-Station.

Dieser Effekt lässt sich nicht nur als Höenschichtung in einer senkrecht zur Anlage stehenden Fläche nachweisen, sondern ebenso in einer waagerechten Ebene: Bild III.4.4 zeigt das simulierte Linienprofil der Immission einer auf 20 m Höhe montierten Dreibandantenne Kathrein 742265 (GSM 900, GSM 1800 und UMTS) auf dem Erdboden. Die Antenne wird für alle Systeme mit derselben Leistung (20 Watt) gespeist; der Downtilt ist jeweils auf 0° eingestellt.

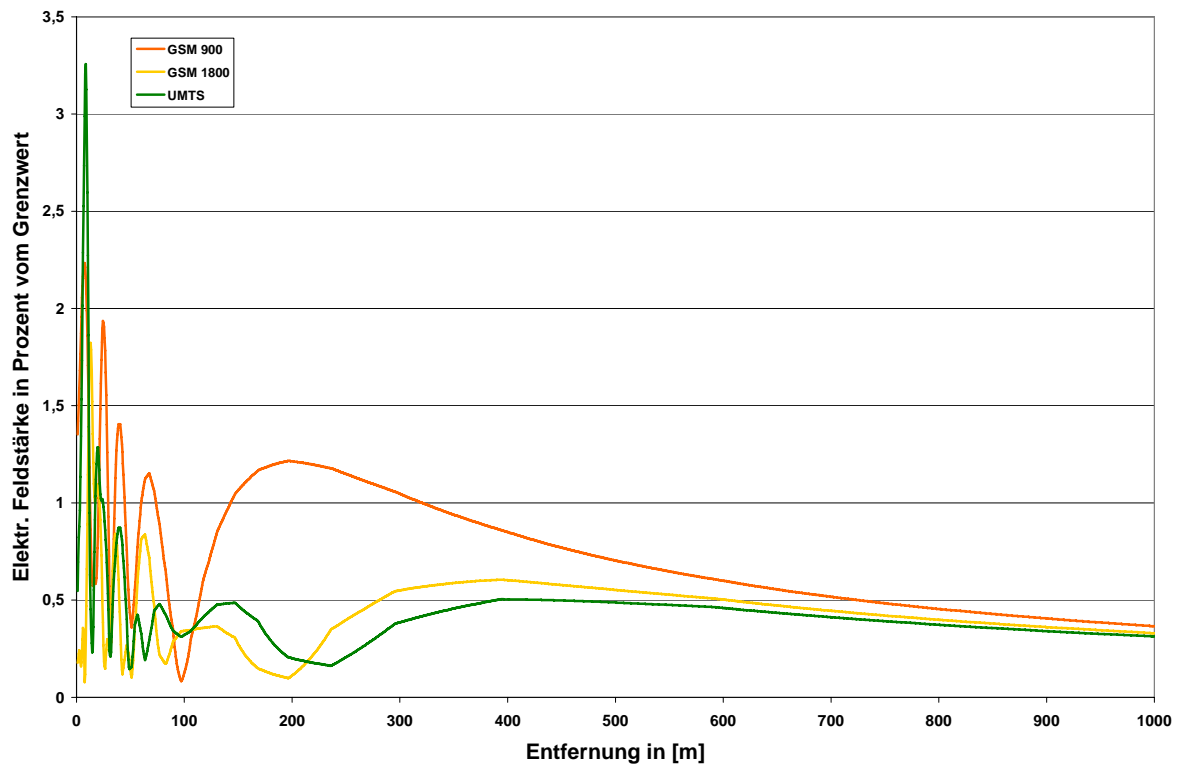


Bild III.4.4: Simuliertes Abstandsprofil als Grenzwertausschöpfung einer Dreibandantenne K 742265, Montagehöhe 20 m, Downtilt aller drei Systeme 0°, 20 W pro System.

Lässt man bei der Betrachtung erst einmal den Nebenzipfelbereich (0 bis etwa 200 Meter) unbeachtet, lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten: Aufgrund der breiteren Hauptkeule von GSM 900 trifft diese als erste von den drei Systemen, und zwar hier etwa bei 200 Meter, auf den Erdboden. Es folgen die Hauptstrahlrichtungen der Systeme GSM 1800 und UMTS in wesentlich größerer Entfernung (ca. 400 Meter). Die Schwankungsbreite der Immissionen von UMTS ab ca. 50 Meter ist wesentlich geringer als bei GSM 900. Dieser Umstand wurde bereits bei den Messungen in den Szenarien 1 (Bild III.2.3 und III.2.4), 2 (Bild III.2.11) und 5 (Bild III.2.19) beobachtet. Insgesamt ist das Verhalten von UMTS dem Verhalten von GSM 1800 sehr ähnlich (dieser Effekt wurde weiter oben schon unter Punkt 3 diskutiert). Interessanterweise ist im gesamten Entfernungsbereich ab etwa 120 Meter die Immission durch GSM 900 grenzwertbezogen größer als bei GSM 1800 und UMTS, und dies obwohl der Antennengewinn der untersuchten Antenne bei GSM 900 2,3 dB kleiner ist als bei UMTS. Offensichtlich wird im Bereich bis etwa 400 Meter der kleinere Gewinn durch die Tatsache kompensiert, dass die Punkte sich in Hauptstrahlrichtung der GSM 900-Antenne, aber noch nicht in der Hauptstrahlrichtung von UMTS befinden. Ab ca. 400 und 500 Meter sind die GSM 900-Immissionen *absolut* gesehen kleiner als die durch GSM 1800 und UMTS; durch

den kleineren Grenzwert von GSM 900 dominieren sie jedoch weiterhin die Bilanz in einer grenzwertbezogenen Betrachtung.

Ein größerer Downtilt seitens GSM 900 verstärkt diese Tendenz der Dominanz der GSM 900-Immissionen noch, wohingegen ein stärkerer Downtilt seitens UMTS den Auftreffpunkt der Hauptstrahlrichtung auf den Erdboden näher an die Antenne heran schiebt und das Immissionsniveau wesentlich anhebt ([BOR 04], Abschnitt 2.2.4) . In diesem Falle kann es dann zu einer Dominanz der UMTS-Immissionen kommen. Ein Beispiel dafür ist das Szenario 10, bei dem das UMTS-System mit  $8^\circ$  wesentlich stärker getiltet war als das GSM-System mit  $0^\circ$  (Bild III.2.46). Eine generelle Tendenz hinsichtlich größerer oder kleinerer Downtiltwinkel von UMTS gegenüber GSM ist, ähnlich wie eine generelle Tendenz bezüglich der Anordnung der UMTS-Antennen oberhalb oder unterhalb der GSM-Antennen, derzeit bei den Netzbetreibern jedoch nicht auszumachen.

### **Fazit:**

Über alle Messpunkte gesehen ergibt sich eine deutliche Dominanz der GSM-Immissionen im Vergleich zu UMTS. Grenzwertbezogen dominieren an etwa 85 % der Messpunkte die durch GSM-Systeme hervorgerufenen Immissionen, wobei hier nur solche Standorte betrachtet wurden, bei denen neben UMTS-Antennen auch GSM-Antennen am selben Standort installiert waren.

In die Fragestellung der Dominanz von GSM- oder UMTS-Immissionsanteilen an konkreten Messpunkten spielen eine Reihe von Einflussfaktoren eine Rolle, die (ähnlich wie bei der Frage nach den Einflussfaktoren für die Größe der Immission am Messpunkt) miteinander verbunden sind und nicht isoliert voneinander betrachtet werden dürfen. Zu diesen Faktoren gehören die installierte Sendeleistung und insbesondere auch die Orientierung zur Hauptstrahlrichtung der Antennen. Die gegenüber UMTS deutlich breitere Hauptkeule von GSM 900 führt dazu, dass im Umfeld von GSM 900-Anlagen wesentlich mehr Punkte in oder nahe der Hauptstrahlrichtung liegen als bei UMTS und somit eine höhere Immission erfahren. Letztlich sorgt auch der niedrigere Grenzwert für GSM 900-Immissionen dafür, dass bei einer grenzwertbezogenen Betrachtung oftmals die Immissionen durch GSM 900 dominieren, wohingegen sich GSM 1800 und UMTS ähnlich verhalten.



## III.5 Weitere Charakteristika von UMTS-Immissionen

### III.5.1 Zeitlicher Verlauf der Immission

Zusätzlich zu den Langzeitmessungen in den vier Szenarien

- Indoor mit Sicht,
- Indoor ohne Sicht,
- Outdoor mit Sicht und
- Outdoor ohne Sicht,

die bereits im Abschnitt II.4.13 des zweiten Berichtsteils dokumentiert sind, werden im Folgenden drei weitere Beispiele für Langzeitmessungen vorgestellt. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass die Immission über einen Zeitraum von jeweils 24 Stunden erfasst und dokumentiert wurde. Die Messungen wurden dabei frequenzselektiv nach der in II.4.13.1 des zweiten Teilberichtes beschriebenen Methode „Fixer Ort, zeitlicher Verlauf“ durchgeführt, d.h. ohne Schwenkmethode und ohne Hochrechnung auf den maximalen Betriebszustand.

Die erste Messung wurde in einem Foyer der IMST in Kamp-Lintfort durchgeführt. Hierbei wurden diejenigen Immissionen durch eine Anlage erfasst, die bereits in Abschnitt III.2.3 (Gewerbegebiet) dokumentiert ist. Die Entfernung vom Messpunkt zur Anlage beträgt ca. 380 m. Die Immission wurde über einen Feiertag (über den 25. Mai 2006) gemessen, damit

- die Messwertaufnahme nicht durch die Anwesenheit von Personen gestört wird und
- aufgrund der Lage der Station in einem Gewerbegebiet die Verkehrsauslastung auf ein Minimum reduziert ist.

Die Messung ist deswegen ein Beispiel für eine UMTS-Anlage ohne aktiven Gesprächs- oder Datenverkehr; die Immissionen sind vielmehr zum Studium möglicher zeitlicher Schwankungen der Signalisierung von Interesse.

Bild III.5.1 zeigt den konkreten Messort. In Bild III.5.2 sind die Messergebnisse dargestellt. Jede Minute wurde ein Messwert aufgenommen.



Bild III.5.1: Messpunkt für die 24-Stunden-Messung am IMST

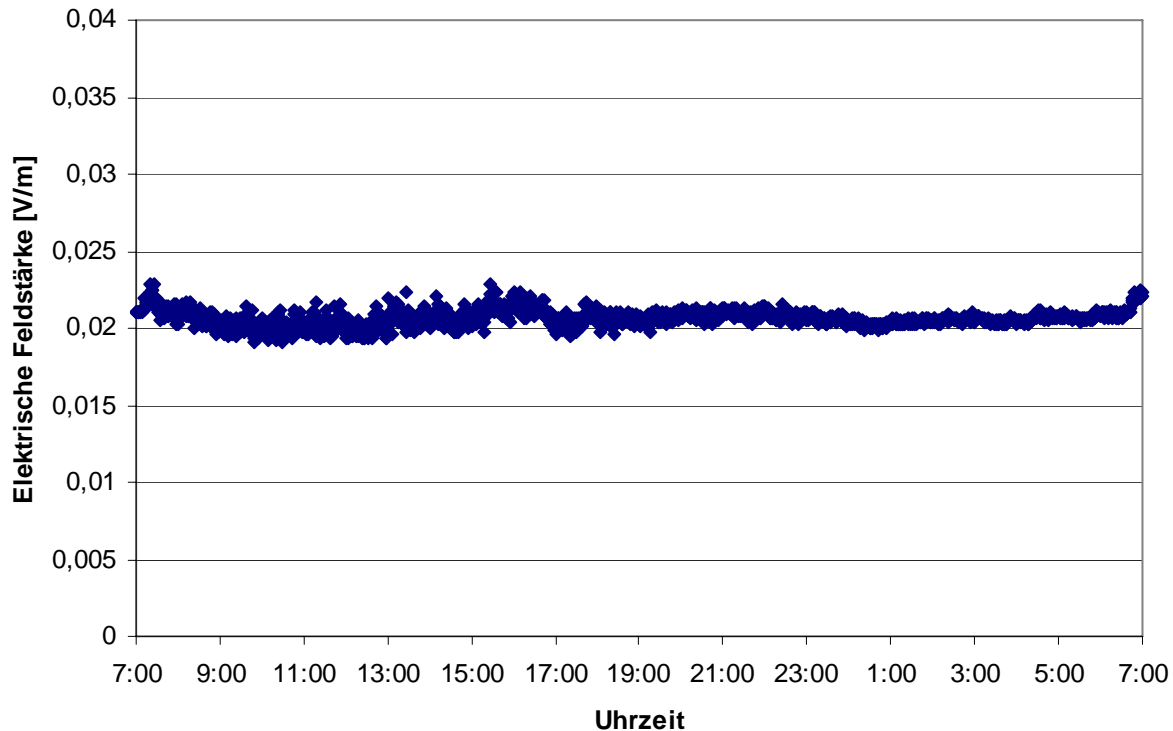


Bild III.5.2: Ergebnis der 24-Stunden-Messung am IMST, 25.-26.05.2006

Folgende Erkenntnisse lassen sich aus den Messdaten ziehen:

- Die Schwankung der Messwerte ist sehr gering. Sie beträgt etwa 1,6 dB (Min. - Max.) und liegt damit in derselben Größenordnung wie bei den Messungen in Kapitel II.4.13 für die Szenarien ohne Verkehr (1,1 - 2,1 dB).
- Im tageszeitlichen Verlauf ist ein geringfügiger Unterschied feststellbar: Die Immission schwankt in der ersten Periode der Messung (07:00 Uhr bis 19:00 Uhr) etwas stärker als in der darauf folgenden Periode (19:00 Uhr bis 06:00 Uhr). Die Ursache hierfür wird im Fahrzeugverkehr auf der zwischen Anlagen- und Messort entlang führenden Straße vermutet, der tagsüber stärker war als in den Nachtstunden. Vorbei fahrende Autos verändern die Mehrwegeausbreitungsverhältnisse zwischen Anlage und Messort und haben somit Einfluss auf die Immissionsverhältnisse am Messort.
- Interessanterweise scheinen die Witterungsbedingungen kaum Einfluss auf die Messungen zu haben. Über den Zeitraum der Messungen herrschte stark wechselhaftes Wetter mit sonnigen Abschnitten, aber auch Sturm und Regenschauer.

Insgesamt unterstreicht diese Messung, dass die Immission von UMTS-Anlagen, die ohne Gesprächs- und Datenverkehr laufen, zeitlich nahezu konstant ist.

Die zweite Messung wurde in einem Raum im zweiten Stock eines Wohnhauses in Regensburg durchgeführt. Nach dem Start des Messsystems wurde der Raum nicht mehr betreten. Hierbei wurden frequenzselektiv die Immissionen einer von insgesamt drei UMTS-Anlagen auf dem Dach eines Hochhauses erfasst, die bereits in Abschnitt III.2.5 / Höhengichtung dokumentiert sind. Die Horizontalentfernung vom Messpunkt zur Anlage beträgt etwa 80 Meter. Die Immission wurde über 48 Stunden (13. Juni bis 15. Juni 2006) während der Austragung von Spielen der Fußballweltmeisterschaft gemessen, da

- in diesem Zeitraum eine Verkehrsauslastung zu erwarten war und
- aufgrund der Messdauer von 48 Stunden sich evtl. Schwankungen zumindest teilweise reproduzieren lassen müssten.

Die nähere Umgebung des Standortes, die horizontale Ausrichtung der betrachteten Sendeantennen sowie die Lage des Messpunktes sind im folgenden Bild III.5.3 dargestellt.

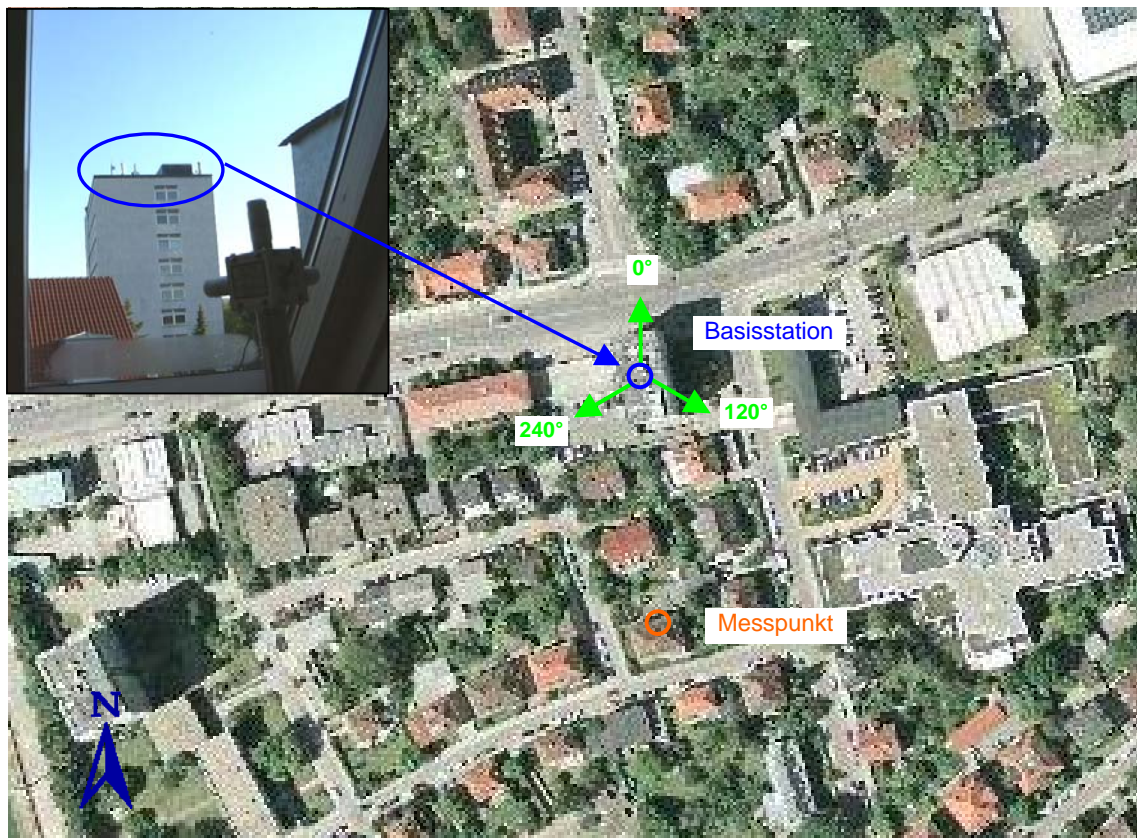


Bild III.5.3: Messpunkt für die 48-Stunden-Messung in Regensburg; Blick von der Messantenne zum Installationsort der UMTS-Antennen (oben links)

Das Bild III.5.4 zeigt die Messergebnisse bzw. den Verlauf des betrachteten UMTS-Signals über der Zeit. Es wurde etwa alle 70 Sekunden ein Messwert aufgenommen.

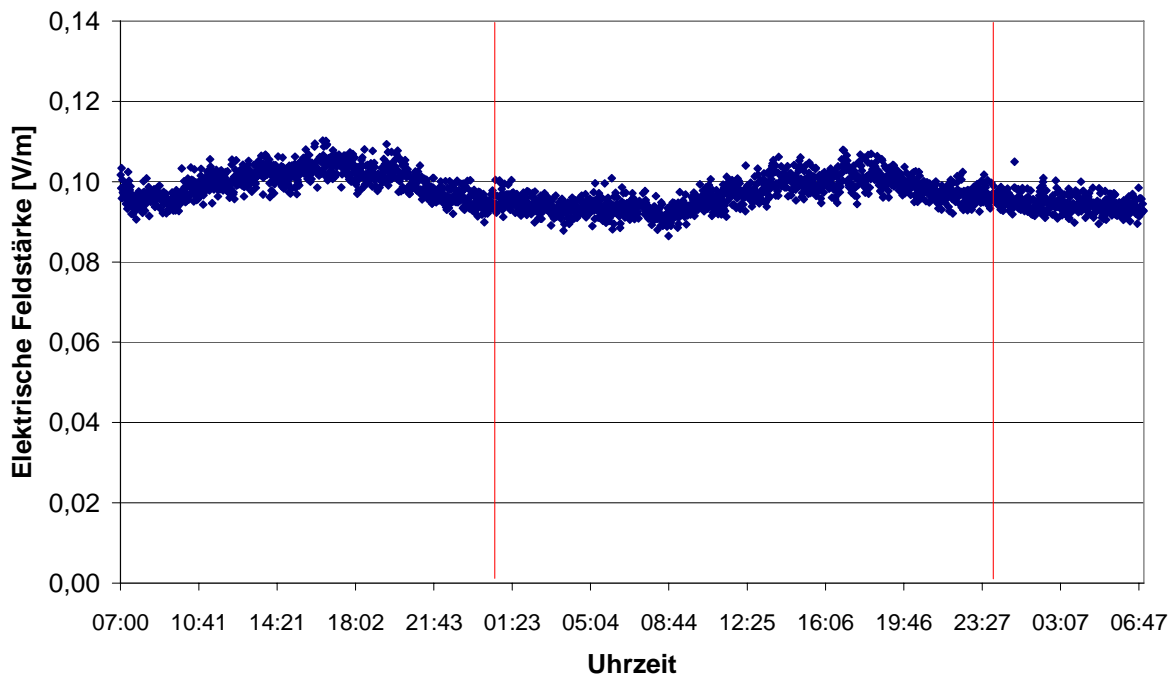


Bild III.5.4: Ergebnis der 48-Stunden-Messung in Regensburg, 13.-15.06.2006

Folgende Erkenntnisse lassen sich aus den Messdaten ziehen:

- Die Schwankungsbreite der Messwerte ist nicht sehr hoch. Sie beträgt etwa 2,1 dB zwischen dem größten und dem kleinsten Einzelwert.
- Im tageszeitlichen Verlauf ist an beiden Tagen zwischen etwa 10:00 Uhr bis 22:00 Uhr ein kontinuierlicher Anstieg und Abfall der Immission (Maximum gegen etwa 17:00 Uhr) zu erkennen. Aufgrund der geringen Spannweite der gemessenen Signale lässt sich nicht eindeutig differenzieren, ob dies auf geringfügigen Datenverkehr oder doch nur wetterbedingte Einflüsse zurückzuführen ist.
- Im Vergleich zu typischen tageszeitlichen Schwankungen bei GSM-Basisstationen (siehe dazu beispielsweise die Messergebnisse im Abschnitt 4.1.2 in [BOR 04]) sind derzeit offensichtlich selbst bei UMTS-Anlagen im großstädtischen Umfeld nur relativ geringe auslastungsabhängige Schwankung feststellbar. Dies liegt sicherlich einerseits daran, dass die UMTS-Netze derzeit noch nicht die Verkehrsmengen transportieren, wie die GSM-Netze. Andererseits ist zu beachten, dass bei GSM im Falle zunehmender Verkehrslast abrupt weitere Trägerfrequenzen zugeschaltet werden, was insgesamt zu einem sprunghafteren Zeitverlauf der Exposition führt, als bei UMTS, wo die Verbindungen alle auf einer Frequenz abgewickelt werden und die Leistungsveränderung pro Verbindung insgesamt moderater ausfällt. Durch diese Tatsache ist der gleichmäßigere Messwerteverlauf über der Zeit bei UMTS im Gegensatz zu GSM erklärbar.

- Weiterhin muss an dieser Stelle festgehalten werden, dass mit den hier verwendeten Langzeitmesssystemen die kurzzeitigen Expositionsveränderungen, die sich eventuell durch die schnelle Leistungsregelung bei UMTS (1.500 Regelungen pro Sekunde) ergeben könnten, nicht erfassbar sind, da die derzeit auf dem Markt verfügbaren Isotropsonden derart schnelle Messzyklen nicht zulassen. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass, ähnlich wie bei GSM, auch bei UMTS der Einfluss der Leistungsregelung auf die Expositionssituation bei den *Basisstationen* weniger bedeutsam ist, als bei der *Telefonnutzung*, da die Leistungsregelung der Basisstation immer individuell für jede einzelne Verbindung durchgeführt wird, und damit in der Summe eine gewisse Kompensation von Leistungssteigerungen und -reduktionen zu erwarten ist.

Die dritte Messung wurde in einem Büroraum der Zentrale von O<sub>2</sub> in München durchgeführt. Hierbei wurden frequenzselektiv die Immissionen durch eine UMTS-Inhouse-Antenne erfasst. Während des Messzeitraumes wurde das Zimmer innerhalb der normalen Arbeitszeit von einer Person genutzt. Die Entfernung vom Messpunkt zur Antenne beträgt etwa 10 Meter. Die Immission wurde über 24 Stunden (07. bis 08. Juni 2006) gemessen, damit

- der Einfluss auf die Messwertaufnahme durch die Anwesenheit von Personen betrachtet wird und
- verkehrsbedingte Immissionsschwankungen erfasst werden.

Bild III.5.5 zeigt den konkreten Messort. In Bild III.5.6 sind die Messergebnisse dargestellt. Es wurde etwa alle 70 Sekunden ein Messwert aufgenommen.



Bild III.5.5: Messpunkt für die 24-Stunden-Messung in einem Büroraum (links); Blick von vor der Bürotür zur UMTS-Inhouse-Antenne (rechts)

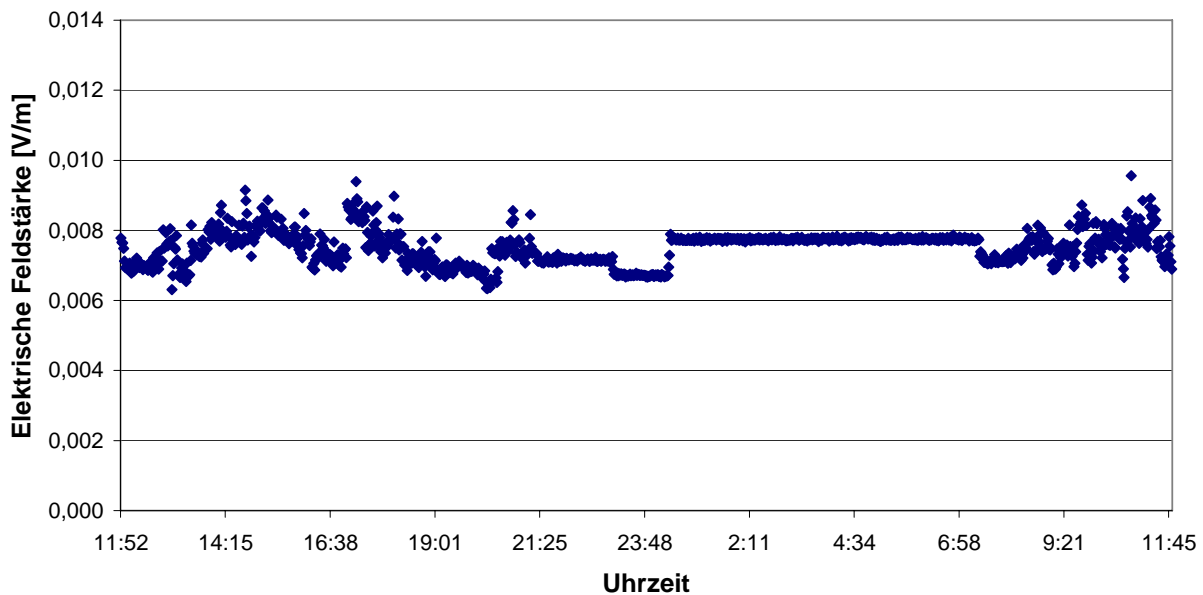


Bild III.5.6: Ergebnis der 24-Stunden-Messung in einem Büroraum, 07.-08.06.2006

Folgende Erkenntnisse lassen sich aus den Messdaten ziehen:

- Die Schwankung der Messwerte beträgt etwa 3,6 dB und ist in erster Linie auf den Aufenthalt und die Bewegung von Personen im Raum und im Flur (zwischen Inhouse- und Messantenne) zurückzuführen. Verkehrsabhängige Schwankungen lassen sich nicht eindeutig erkennen.
- Außerhalb der Büroarbeitszeiten ab etwa 21:00 Uhr bis 07:30 Uhr sind drei Perioden mit unterschiedlich starker Immission, aber sehr konstantem Verlauf erkennbar. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre das Verändern von Mobiliar im Büro oder das Offenlassen oder Schließen der Bürotür durch Reinigungs- oder Sicherheitspersonal.

#### Fazit:

Drei durchgeführte Langzeitmessungen über einen Zeitraum von mindestens 24 Stunden dokumentieren den zeitlichen Verlauf der Immission. Die größte Schwankungsbreite mit ca. 3,6 dB ergibt sich dabei durch die Bewegung von Personen im Umfeld der Messeinrichtung. Demgegenüber war die Schwankungsbreite an einer innerstädtischen Anlage, die zum Zeitpunkt der Übertragung von Spielen der Fußballweltmeisterschaft 2006 unter dem Hinblick einer zu erwartenden deutlichen Verkehrsauslastung gemessen wurde, mit ca. 2,1 dB geringer. Reproduzierbare Schwankungen im tageszeitlichen Verlauf traten zwar auf, der Einfluss von witterungsbedingten Schwankungen lässt sich aber nicht gänzlich ausschließen. Offensichtlich sind bei einer Vielzahl von UMTS-Anlagen verkehrsbedingte Immissionschwankungen derzeit nur wenig ausgeprägt. Die zeitlichen Immissionsvariationen an einer Anlage ohne Verkehr bzw. Personeneinfluss ist mit 1,6 dB am geringsten und unterstreicht, dass die Immissionen durch Signalisierungskanäle zeitlich nahezu konstant sind.

### III.5.2 Kleinskalige örtliche Schwankungsbreite

Bereits in Abschnitt II.4.4 des zweiten Berichtsteils wurden Untersuchungen zur kleinskaligen örtlichen Feldstärkevariation von UMTS-Signalen im Vergleich zu GSM-Signalen durchgeführt. Dazu wurden spektrale Punktraster-Messungen innerhalb eines würfelförmigen Volumens in einem Indoor-Szenario (LOS und NLOS) vorgenommen; der Abstand der Messpunkte betrug 80 cm. Ein künstliches UMTS- und ein GSM 1800-Signal wurden mit einem Vektor-Signalgenerator erzeugt. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass die örtlichen Mittelwerte der GSM 1800- und UMTS-Signale ähnlich waren, was auf vergleichbare Ausbreitungsbedingungen hinweist. Die absoluten Spannweiten zwischen größtem und kleinstem im Messvolumen festgestellten Wert waren bei UMTS etwas geringer.

Diese Untersuchungen werden hier wie folgt auf ein Vergleich zwischen einem UMTS- und einem GSM 900-System erweitert: Die Messungen wurden mit einem zweidimensionalen Scannersystem (Isel) über eine Gesamtstrecke von 140 cm mit einer Schrittweite von 2 cm durchgeführt. Durch diese hohe Auflösung wird erreicht, dass sich innerhalb einer Wellenlänge des UMTS-Signals (ca. 15 cm) mehrere Abtastpunkte befinden und ein „fast fading“ somit detailliert erfasst werden kann. Die Untersuchungen wurden an einer realen Anlage durchgeführt, von der UMTS- und GSM 900-Signale abgestrahlt werden. Die Anlage ist bereits im Abschnitt III.2.3 beschrieben.

Als Messorte wurden ein Büro und ein Laborraum am IMST ausgewählt. Von beiden besteht keine Sichtverbindung zur ca. 350 m entfernten Anlage; in den Büroraum gelangen die Immissionen jedoch durch eine ausgeprägte Reflexion an einem Nachbargebäude. Bei den Messungen im Laborraum wurde das Scannersystem in eine Schirmkammer (bei geöffneter Tür) untergebracht, um durch die Metallwände starke Reflexionen und damit auch ein besonders ausgeprägtes „fast fading“ zu provozieren.

Auf das Scannersystem wurde eine isotrope Antenne (3-Achsen-Sonde des TS-EMF-Systems, Rohde & Schwarz) montiert, die zur Aufnahme des Feldes diente. Im Gegensatz zu den Untersuchungen im zweiten Berichtsteil wurden die Immissionen der UMTS-Station hier codeselektiv erfasst, um Immissionsschwankungen durch wechselnde Verkehrsauslastung an der realen Station auszublenden. Die in den folgenden Bildern dargestellten Feldverläufe beschreiben also bezüglich UMTS die Immission durch den CPICH-Kanal und bezüglich GSM 900 durch den BCCH-Kanal. Es wurden nur die Immissionen durch den auf die Messorte gerichteten 300° Sektor aufgenommen, da die anderen Sektoren zu geringe Immissionen für eine zuverlässige Messung vor allem bei UMTS erzeugten.

Pro Messort wurden die Messungen an zwei um 8 cm parallel versetzten Scanwegen von je 140 cm Länge durchgeführt. In den nachfolgenden Bildern sind die Messorte, das Messsystem sowie die Ergebnisse für die Büroumgebung und die Laborumgebung dokumentiert.

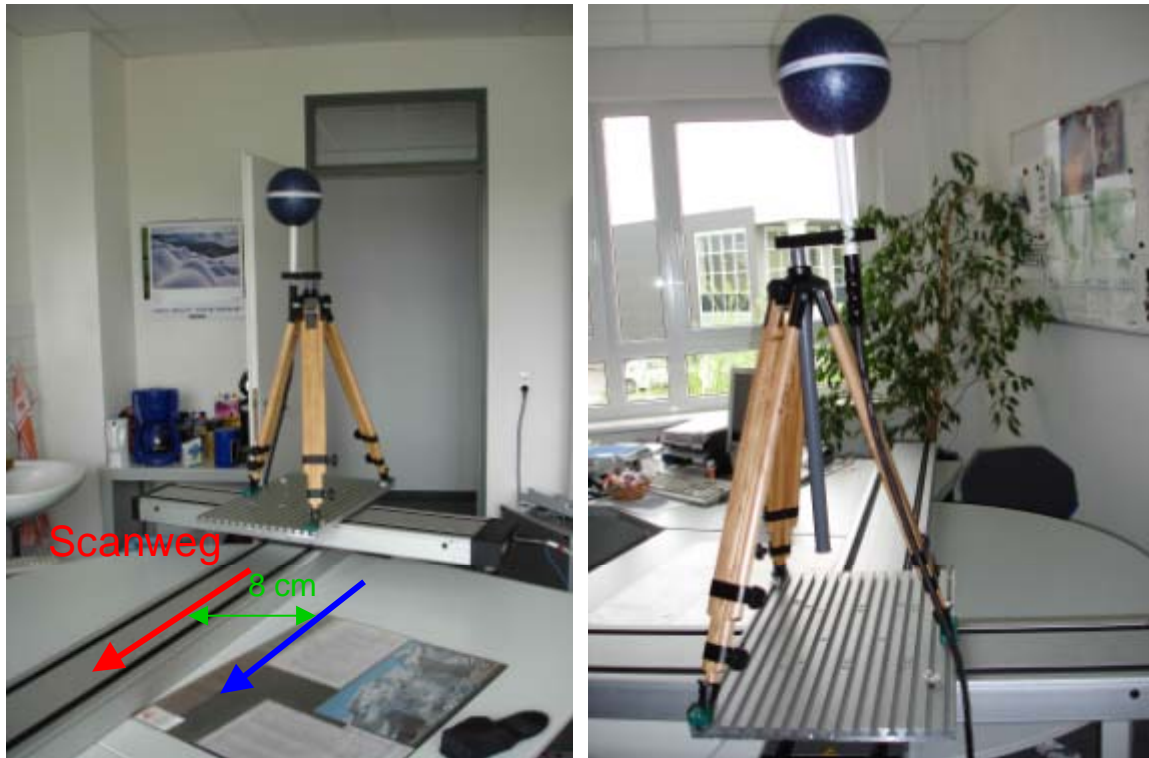


Bild III.5.7: Scannermessungen in einer Büroumgebung ohne Sicht auf die Anlage

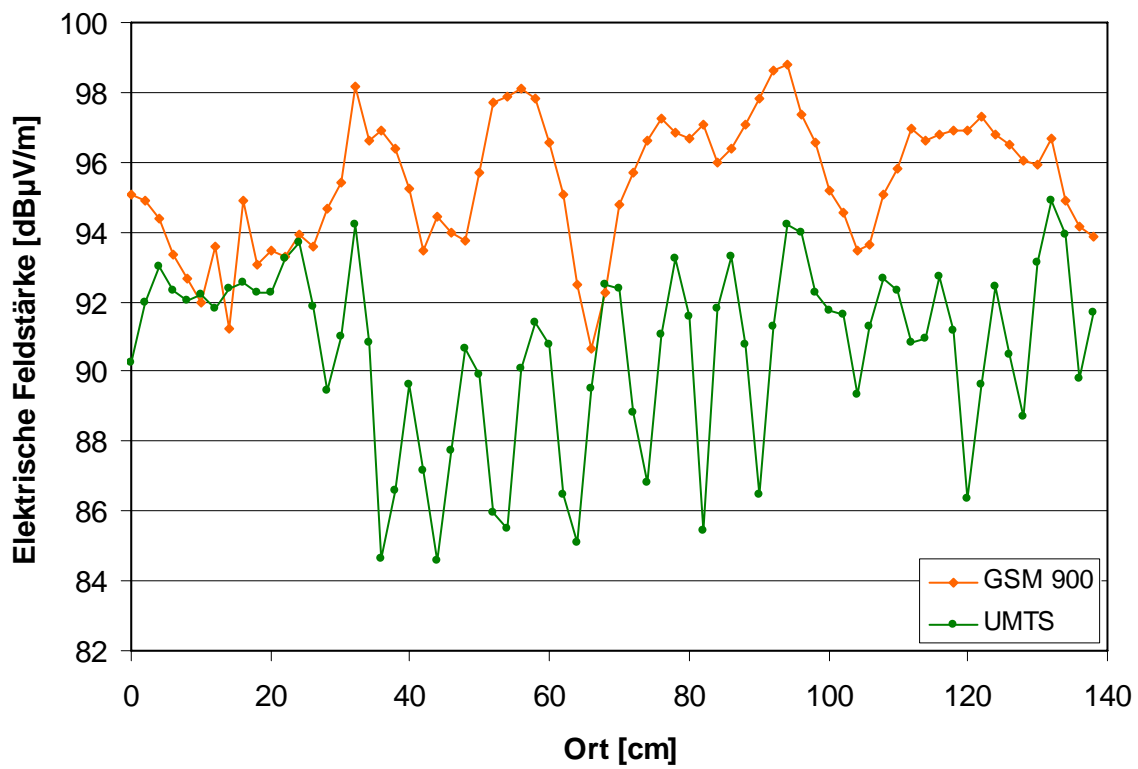


Bild III.5.8: Feldstärkeprofil vom Scanweg 1, Büroumgebung



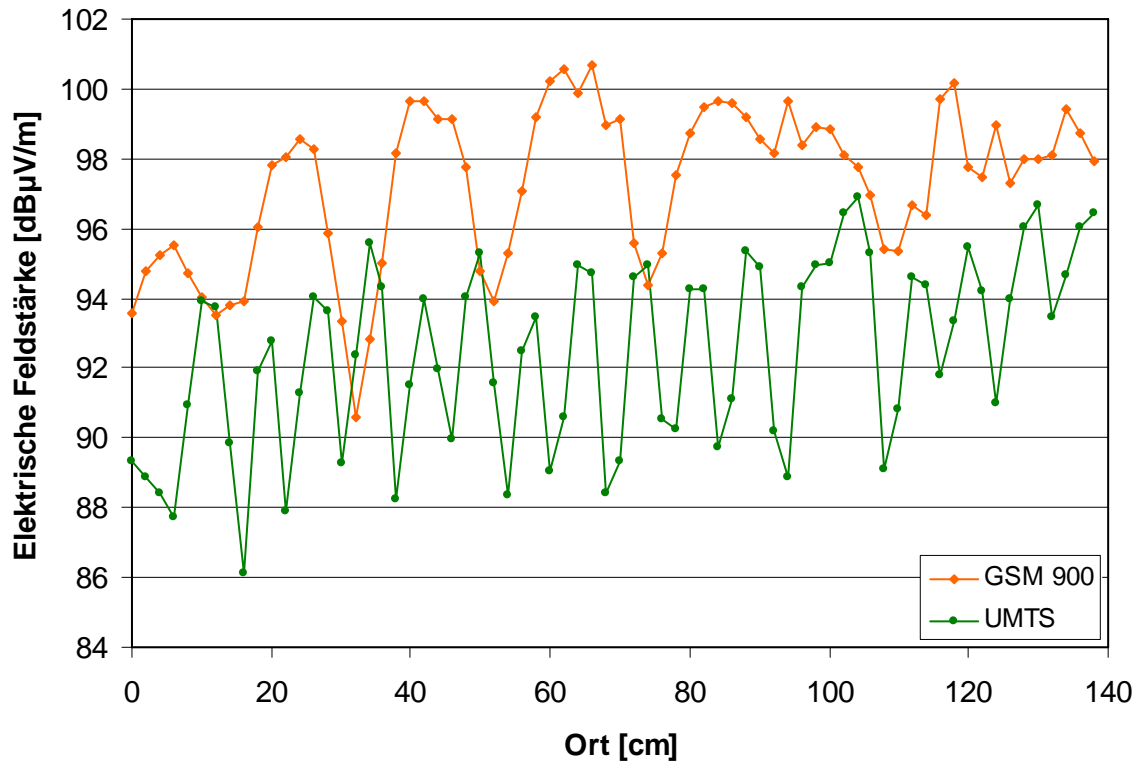


Bild III.5.9: Feldstärkeprofil vom Scanweg 2, 8 cm vom Scanweg 1 entfernt, Bürorumgebung



Bild III.5.10: Scannermessungen in einer reflektierenden Laborumgebung ohne Sicht auf die Anlage

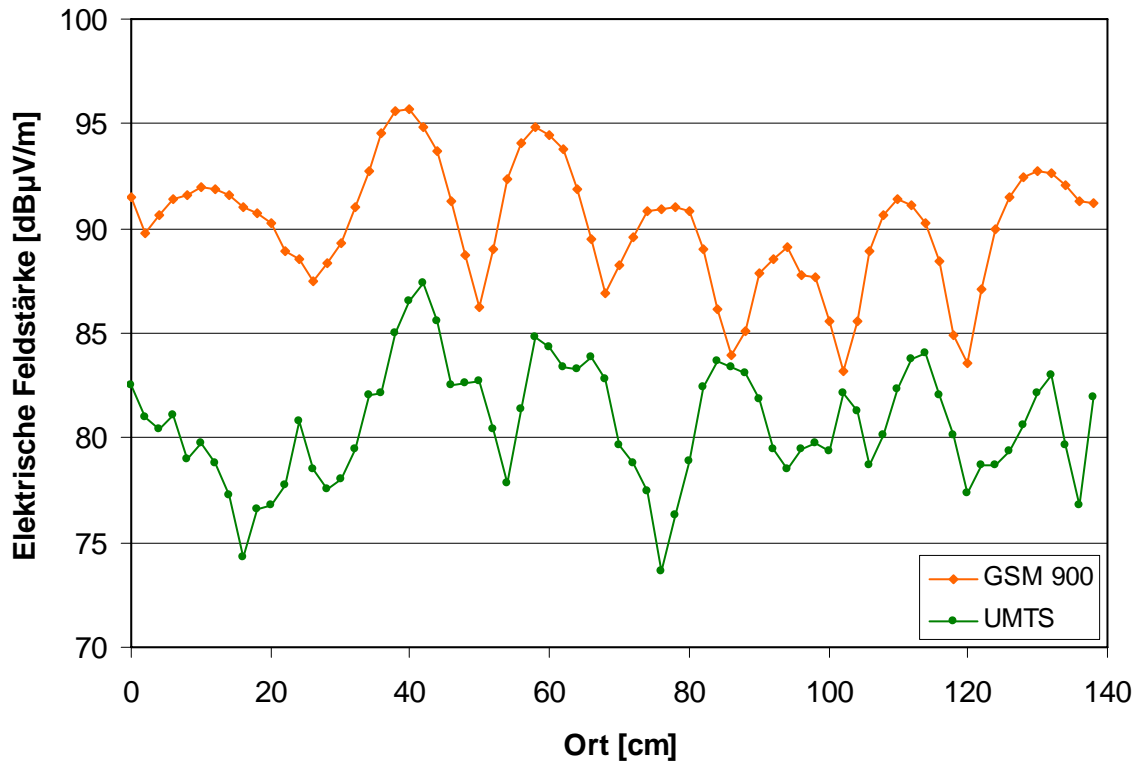


Bild III.5.11: Feldstärkeprofil vom Scanweg 1, Laborumgebung

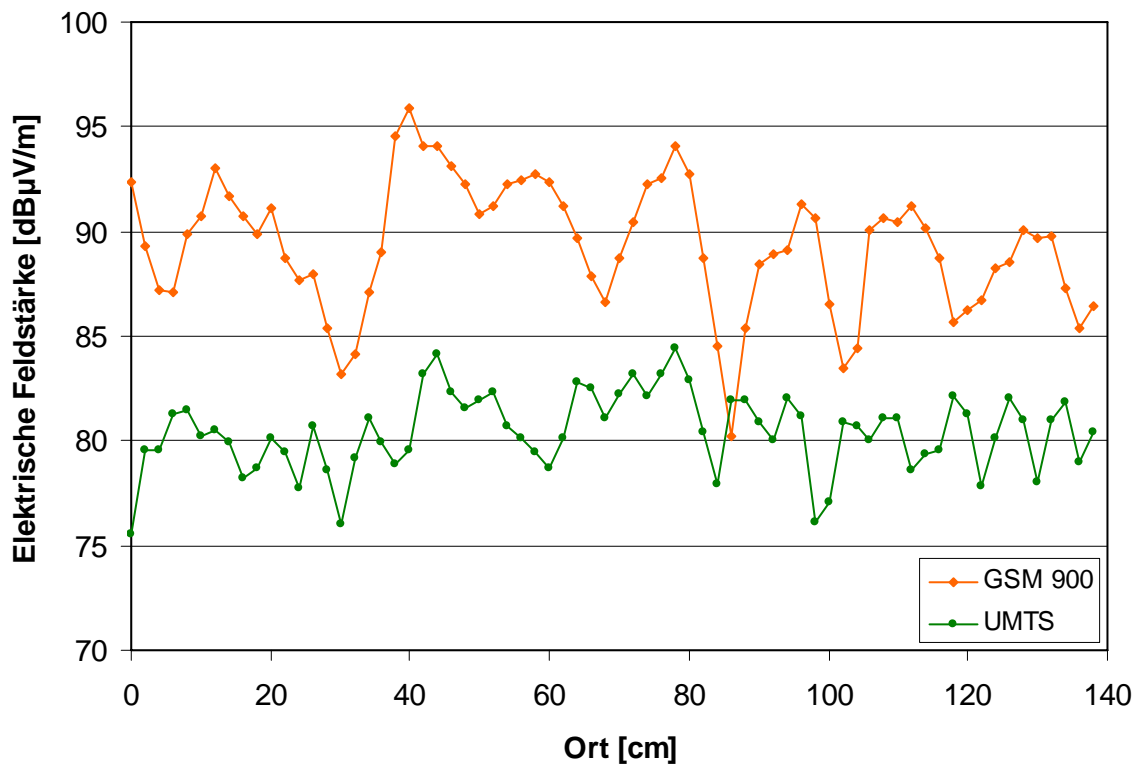


Bild III.5.12: Feldstärkeprofil vom Scanweg 2, 8 cm vom Scanweg 1 entfernt, Laborumgebung

Aus den Messergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- In allen Bildern sind deutliche „fast fading“-Effekte zu erkennen: Die Felder schwanken kleinskalig mit einer Schwankungsbreite (Max. - Min.) von typisch etwa 10 dB.
- Vor allem aus den Ergebnissen der Büromessungen ist zu sehen, dass die Schwankungsfrequenz bei UMTS aufgrund der kleineren Wellenlänge der UMTS-Signale deutlich höher ist als bei GSM 900.
- Interessant ist, dass das Feldstärkeprofil beim Scanweg 2 teilweise völlig anders als bei Scanweg 1 verläuft, obwohl beide Wege nur um 8 cm versetzt sind. Dies spricht für ein starkes „fast fading“ nicht nur in der Richtung des Scanweges, sondern auch quer dazu.
- Anders als erwartet (aufgrund der wesentlich größeren spektralen Bandbreite des UMTS-Signals gegenüber GSM erwartet man eine Reduzierung der „fast fading“-Effekte) ist bei UMTS allerdings keine deutliche Abschwächung der Schwankungsbreite zu erkennen. Dieses ist allenfalls beim Scanweg 2 der Laborumgebung sichtbar, in der die Schwankungen bei UMTS mit max. 8 dB insgesamt geringer ausfallen als bei GSM 900 mit max. 15 dB. In den anderen drei Messungen sind die Schwankungen jedoch in derselben Größenordnung.
- Anders als erwartet ist in der reflektierenden Laborumgebung das „fast fading“ (mit Ausnahme von GSM in Bild III.5.12) nicht wesentlich stärker ausgeprägt als in der Büroumgebung.

Bei dieser Messung ist zu beachten, dass das UMTS-Signal wie beschrieben nicht spektral, sondern codeselektiv gemessen wurde. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass es durch den in den Messgeräten implementierten Decodieralgorithmus zu einer Verfälschung des real vorliegenden „fast fading“ Feldstärkeprofils *in seiner Form* kommen kann. Bereits im zweiten Teilbericht, Abschnitt II.4.9.2 wurden auf Untersuchungen des Schweizer Bundesamtes METAS hingewiesen [RYS 05], wonach in Szenarien mit ausgeprägter Mehrwegeausbreitung bei einigen der untersuchten codeselektiven Geräte Fehlbewertungen von 2 bis 3 dB festgestellt wurden. Allerdings traten diese nur bei *stationären* Verhältnissen auf und zwar dann, wenn sich die Mehrwegesignale nahezu auslöschten. Bei konstruktiver Interferenz war die Abweichung geringer, so dass bei Anwendung der „Schwenkmethode“ in realen Umgebungen aufgrund der permanent ändernden Phasenverschiebungen immer auch Kombinationen vorkommen, bei denen korrekte Ergebnisse geliefert werden, so dass das Maximum zuverlässig bestimmt wird.

Dieser verfälschende Effekt ist aber für vorliegende Problematik eher von sekundärem Interesse, da die Charakterisierung der kleinräumigen Schwankungen vor allem mit dem Ziel erfolgte festzustellen, in wieweit der Schwenkvorgang zur zuverlässigen Erfassung des örtlichen Feldstärkemaximums bei UMTS aufgrund der größeren Bandbreite eventuell weniger sorgfältig durchgeführt werden kann als bei GSM. Da die UMTS-Messungen zumindest bei der normativen Erfassung der UMTS-Immissionen zur Überprüfung der Grenzwerte ohnehin codeselektiv zu erfolgen haben, belegen die Untersuchungen, dass der Schwenkvorgang bei UMTS ebenso sorgfältig durchzuführen ist wie bei GSM.

## III.6 Vergleich der Messungen mit Berechnungen

Im folgenden Kapitel werden die im zweiten Berichtsteil grundsätzlich untersuchten Softwarepakete auf *reale Konfigurationen* angewendet. Die gewonnenen simulierten Ergebnisse werden anschließend mit entsprechenden Messergebnissen aus denselben Konfigurationen verglichen.

Um für die Eignung von Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Immissionen durch UMTS-Sendeanlagen eine allgemeine Aussage treffen zu können, wird der Vergleich an mehreren Konfigurationen mit unterschiedlichen Eigenschaften durchgeführt. Hierbei wurden folgende berücksichtigt

- (1) Basisstation umgeben von ländlicher Umgebung bzw. lockerer niedrigerer Bebauung
- (2) Pikozone (outdoor)
- (3) Pikozone (indoor)
- (4) Basisstation auf einem Gebäude und Bestimmung der Immissionsverteilung auf einem von Häusern umringten Platz
- (5) Bestimmung der Immissionsverteilung einer Basisstation innerhalb eines Stadtgebietes mit einer Fläche von ca. 1 km<sup>2</sup>
- (6) Bestimmung der Immissionsverteilung einer Basisstation in einem darunter liegenden Gebäude

Diese Konfigurationen beinhalten neben verschiedenen UMTS-Zelltypen, Indoor- und Outdoor-Szenarien und differierenden Sichtbedingungen auch unterschiedliche Abstände (direkte Senderumgebung bis Ende der Versorgungszelle) zur Basisstation. Anhand dieser typischen Anwendungsfälle werden die Softwarepakete im folgenden *durch einen Vergleich mit entsprechenden Messungen* auf ihre Eignung für vorliegende Aufgabenstellung überprüft.

Es werden die Softwarepakete Winprop, Wireless Insite und EFC-400 verwendet (vgl. Abschnitt II.2.1). Die im zweiten Berichtsteil zum Einsatz gekommene Software Quickplan konnte leider nicht berücksichtigt werden. Nach Ablauf der Lizenz zum Ende des Bearbeitungszeitraumes vom zweiten Projektteil war es nicht möglich, eine erneute Lizenz im Kostenrahmen unseres Projekts zu erhalten. Zusätzlich wird noch eine Berechnung mit dem Programm Fieldview [FV] durchgeführt, das auf reiner Freiraumausbreitung beruht und keine Gebäude oder andere Hindernisse berücksichtigt. Zur Berücksichtigung von Reflexionen wird hierbei ein Aufschlag von 3 dB zur Sendeleistung hinzu addiert. Generell ist diese Art der Berechnung natürlich auch mit den anderen betrachteten Programmen ohne weiteres möglich.

Alle Berechnungen wurden auf einem Computer mit folgenden Eckdaten durchgeführt:

- Betriebssystem: Microsoft Windows 2000
- Prozessor: Pentium IV
- Taktfrequenz: 1,8 GHz
- Arbeitsspeicher: 2 GB
- Grafikkarte: Aopen Gforce 4 TI 4200, 64 MB, Open GL

Für eine verbesserte Vergleichbarkeit der Simulationsergebnisse der verschiedenen Softwarepakete untereinander wurde in den Berechnungen zunächst das aus Abschnitt II.3.1 bekannte Material für Gebäude und Wände mit den folgenden Parametern verwendet:

- rel. Permittivität: 4
- Leitfähigkeit: 0,01 S/m

Ferner wurden der entsprechende Dämpfungsfaktor von 4 dB und ein Reflexionsfaktor von ca. 40% für die Simulationen mit EFC-400 aus einer Berechnung mit Wireless Insite abgeschätzt; beide Werte sind jeweils leistungsbezogen.

Die Verifikation der Softwarepakete erfolgt an einer Auswahl der bereits in Kapitel III.2 vorgestellten realen Szenarien. Der Vergleich wird anhand der Immissionen durch den CPICH-Kanal durchgeführt, da dieser aufgrund seiner konstanten Sendeleistung die Basis der codeselektiven Messung darstellt. Die Immission bei maximaler Anlagenauslastung ist daraus skalierbar.

### III.6.1 Eingabeparameter

Die erforderlichen Eingabeparameter für die oben vorgestellten Softwarepakete lassen sich grob in die drei Bereiche anlagenbezogene Parameter, Geodaten und Gebäudedaten aufteilen und werden der Vollständigkeit halber an dieser Stelle nochmals kurz erwähnt. Für detailliertere Angaben sei auf den Abschnitt II.2.2 verwiesen.

Die für die Simulation notwendigen Parameter der Mobilfunksendeanlage sind nur begrenzt der Standortbescheinigung (StOB) zu entnehmen (vgl. [BOR 05; Seite 110]). Daher ist die Mithilfe der Betreiber unumgänglich. Dies betrifft die technischen Angaben über Antennenart, die Sendeleistung am Antenneneingang, Anzahl der Kanäle usw. Bezüglich der azimutalen Ausrichtung sei an dieser Stelle nochmals angemerkt, dass der Anwender den Azimutwinkel nicht stur in die Programme übernehmen sollte, da diese mit unterschiedlichen Drehrichtungen und „Startpositionen“ (0°-Richtung) arbeiten (vgl. Abschnitt II.3.1). Darüber hinaus wird in den Berechnungen ein nach Abschnitt II.2.1 bzw. [BOR 05; Seite 108] synthetisiertes Antennendiagramm verwendet.

Im Gegensatz zu einer Berechnung auf einer ebenen Grundfläche hat das Geländeprofil (und damit verbunden die geänderten absoluten Gebäudehöhen) einen Einfluss auf die ortsbezogene Immission und wird somit bei den folgenden Simulationen geeignet berücksichtigt (vgl. Abschnitt II.3.1.2).

Für die Gebäudedaten werden prinzipiell die Länge, die Breite und die Höhe benötigt. Der vollständige Grundriss der Gebäude ist entweder Satellitenbildern oder den Geobasisdaten des Liegenschaftskatasters zu entnehmen. Allgemein ist zu beachten, dass in den Gebäude-referenzen generell keine Gebäudehöhen enthalten sind, und diese somit geschätzt werden müssen. Die Gebäudedaten werden wie in Abschnitt II.3.1.1 detailliert beschrieben in die Softwarepakete integriert.

### III.6.2 Darstellung der Simulationsergebnisse

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit der Darstellung der Simulationsergebnisse in den einzelnen Simulationsprogrammen. Als Einheit für den Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Messungen wird „dB $\mu$ V/m“ gewählt.

Die Software EFC-400 ermöglicht die Ergebnisdarstellung als elektrische bzw. magnetische Feldstärke, als Leistungsflussdichte sowie als Prozent der Grenzwerte, die in der 26. BImSchV verankert sind. In dem zweidimensionalen Berechnungsgebiet kann der Wert der Immission mittels eines Cursors an einem beliebigen Ort ausgelesen werden. Ferner ist es möglich, die Simulationsebene als Matrix mit jeweiligen Koordinaten und zugehörigem Berechnungsergebnis zu exportieren. Die Einheit der elektrischen Feldstärke ist in V/m gegeben, so dass noch eine Umrechnung in das hier gewählte Vergleichsformat dB $\mu$ V/m außerhalb des Programms geschehen muss.

Bei der Software Wireless Insite ist keine zweidimensionale Simulationsebene gegeben, sondern es können Empfangsantennen an beliebigen Punkten platziert werden. Bei den nachfolgenden Berechnungen wird hierbei die Anordnung aus Bild III.6.1 in den jeweiligen Vergleichsgebieten vorgenommen.

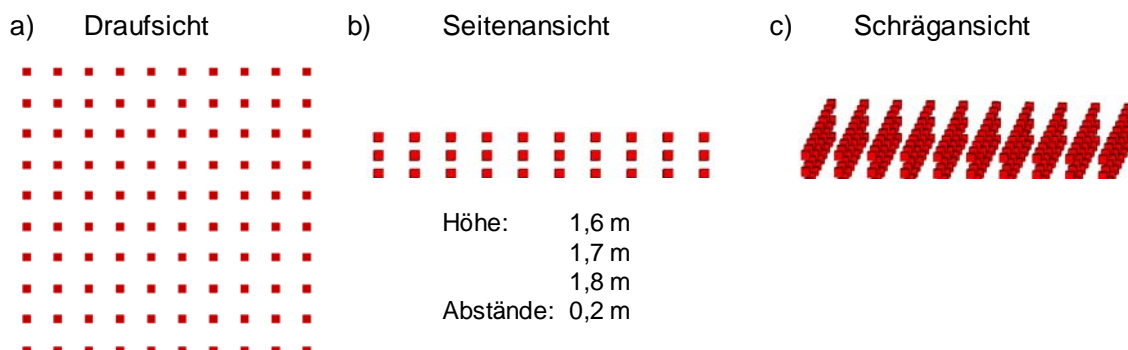


Bild III.6.1: Anordnung der Empfangspunkte in den betrachteten Vergleichsgebieten mit der Software Wireless Insite

An diesen Punkten erhält man dann die Immission als Empfangsleistung in dBm. Die berechneten Ergebnisse werden in einer Datei abgespeichert.

Um einen Vergleich zu den anderen verwendeten Softwarepaketen und zu den Messungen herstellen zu können, muss eine Umrechnung von dBm in die Einheit dB $\mu$ V/m geschehen (siehe Formeln III.6.1 und III.6.2). Hierbei ist zu beachten, dass es sich bei den Empfangsantennen um isotrope Kugelstrahler handelt.

$$P_e(\text{W}) = 10^{\left(\frac{P(\text{dBm})}{10} \cdot 0,001\right)} \quad (\text{III.6.1})$$

$$E \left( \text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \right) = 20 \cdot \log \left( \frac{\sqrt{P_e \cdot Z_{F0} \cdot 4\pi \cdot \frac{f^2}{c_0^2}}}{1 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}} \right) \quad (\text{III.6.2})$$

Winprop berechnet die Immissionsverteilung flächig in einer horizontal ausgerichteten Ebene. In dem zweidimensionalen Berechnungsgebiet kann der Wert der Immission mittels eines Cursors an einem beliebigen Ort ausgelesen werden. Die elektrische Feldstärke wird in dB $\mu$ V/m angezeigt.

### III.6.3 Konfiguration 1: Gewerbegebiet

Die im folgenden Abschnitt betrachtete Konfiguration basiert auf dem Szenario „Gewerbegebiet“ aus dem Abschnitt III.2.3. Die UMTS-Basisstation ist umringt von ländlicher Umgebung bzw. lockerer niedrigerer Bebauung. Eine Aufsicht über das Szenario mit den vier Vergleichsgebieten und die Mobilfunksendeanlage in der Seitenansicht sind in folgendem Bild dargestellt.

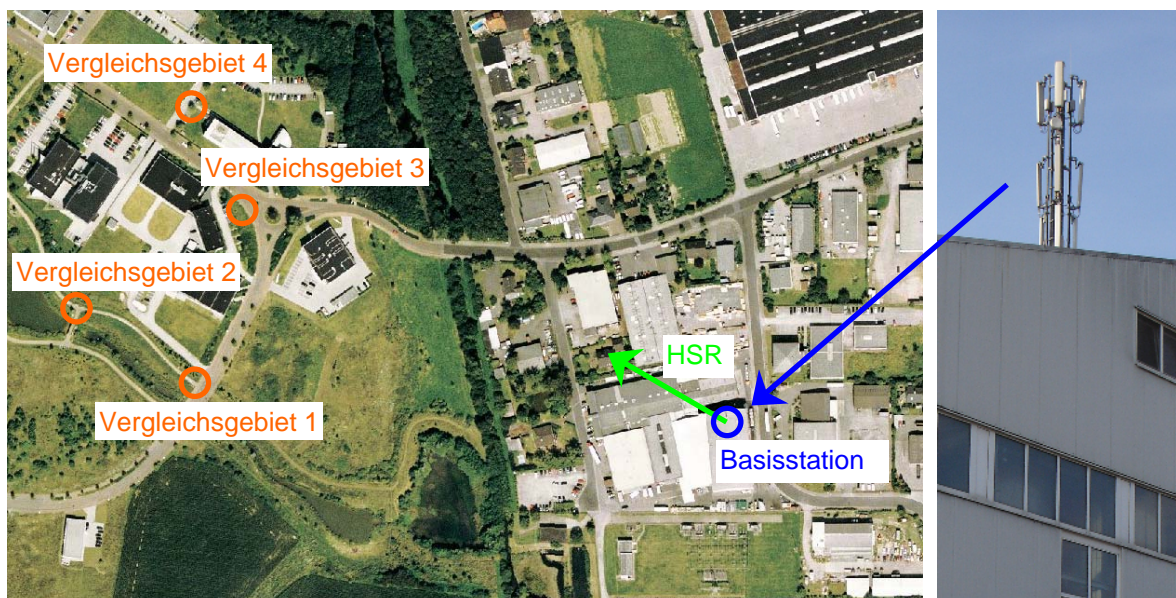


Bild III.6.2: Überblick über das Szenario 1

Im Gegensatz zu den Messungen aus Abschnitt III.2 wird bei den Berechnungen nur *ein* Sektor der Sendeanlage betrachtet, der die Immissionen in den Vergleichsgebieten dominiert. In obigem Bild ist daher noch die entsprechende Hauptstrahlrichtung dieses Sektors mit HSR eingezeichnet, dessen CPICH-Kanal den anschließenden Berechnungen zu Grunde liegt.

Ein Vergleich der Immission an einem bestimmten Punkt ist aufgrund der örtlich kleinskalierten Immissionsschwankungen nicht sinnvoll (vgl. Abschnitt III.5.2). Daher wird analog zu der Vorgehensweise bei den Messungen eine Maximalwertsuche in einem Volumen bzw. einem Gebiet angewendet. Die Simulationsergebnisse werden für die in obigem Bild dargestellten Areale mit entsprechenden Messwerten verglichen.

Tabelle III.6.1 gibt einen Überblick über die Sichtverhältnisse in den jeweiligen Vergleichsgebieten zur Sendeanenne und die zugehörigen lateralen Abstände.

Szenario	(1) Gewerbegebiet	
	Sichtverhältnis zur Basisstation	Laterale Entfernung zur Basisstation in [m]
Vergleichsgebiet 1	LOS	382
Vergleichsgebiet 2	LOS	469
Vergleichsgebiet 3	NLOS	372
Vergleichsgebiet 4	NLOS	445

Tabelle III.6.1: Überblick über die Sichtverhältnisse und Abstände für das Szenario 1

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die verschiedenen Anlagenparameter für den simulierten Sektor der Mobilfunkbasisstation. Diese entsprechen den Einstellungen, die in der Simulation benutzt wurden. Es ist in diesem Zusammenhang zu beachten, dass abhängig vom Softwarepaket die Leistung am Antenneneingang entweder in Watt oder in dBm angegeben werden muss. Die Höhe in Tabelle III.6.2 bezieht sich auf die Unterkante der Mobilfunkantenne. Abhängig vom Softwarepaket muss entweder die Länge der Antenne zusätzlich angegeben werden oder die verwendete Antennenhöhe um die halbe Antennenlänge vergrößert werden.

Ort:	Am Niepmannshof 5 47475 Kamp-Lintfort				
Frequenz in [MHz]	HSR in [°]	Höhe in [m]	Downtilt elektrisch in [°] (beantragt)	Antenne und Länge in [m]	CPICH-Leistung am Antenneneingang in [dBm]
2112,8	300	17,2	0-8	K 742212 1,302	29,97

Tabelle III.6.2: Simulationsparameter für das Szenario 1

Im Folgenden werden die Simulationsergebnisse der einzelnen Softwarepakete vorgestellt. Bei den flächig dargestellten Immissionsverteilungen ist die Berechnungsebene in einer



Höhe von 1,7 m über dem Erdboden in den Bildern zu sehen. Bei Wireless Insite wird die Empfangsantennenkonfiguration entsprechend Bild III.6.1 verwendet.

Der für den Vergleich mit der Messung herangezogene Wert ist die maximale Feldstärke aus den Ebenen in 1,6 m, 1,7 m bzw. 1,8 m Höhe. Bei den Farbschemata entspricht der Maximalwert einer Immission von 140 dB $\mu$ V/m (10 V/m) und der Minimalwert von 50 dB $\mu$ V/m (0,0003 V/m). Im Anschluss an die einzelnen flächigen Simulationsergebnisse folgt ein Vergleich der maximalen Immission in den bereits oben beschriebenen Vergleichsgebieten.

In Bild III.6.3 sind die Resultate von EFC-400 dargestellt. Da bei EFC-400 alle Ausbreitungswege inkohärent überlagert werden, ist eine Betrachtung in verschiedenen Ebenen nicht notwendig, da sich im vertikalen Abstand von wenigen Zentimetern keine nennenswerten Unterschiede ergeben. Die Auflösung betrug in diesem Szenario ein Meter.

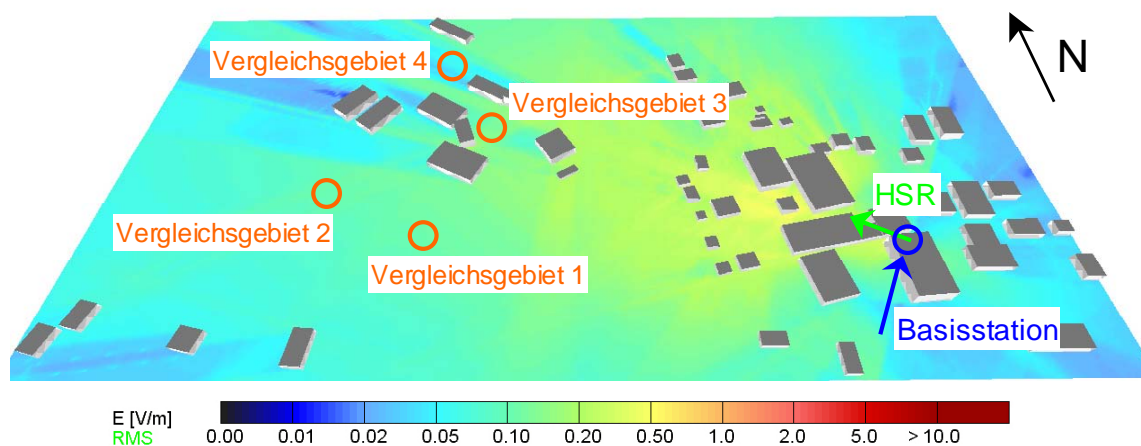


Bild III.6.3: Simulationsergebnis von EFC-400 für das Szenario 1

In Bild III.6.4 ist die dreidimensionale Simulationsumgebung von Wireless Insite zu sehen.



Bild III.6.4: Simulationsumgebung von Wireless Insite für das Szenario 1

Bei den Berechnungen mit Wireless Insite ist zu beachten, dass die Vergleichsgebiete wie schon im vorherigen Abschnitt beschrieben aus drei Ebenen mit insgesamt 100 Empfangspunkten bestehen. Exemplarisch sind in folgendem Bild die Ausbreitungswege für das Vergleichsgebiet 1 bzw. 4 zu sehen.

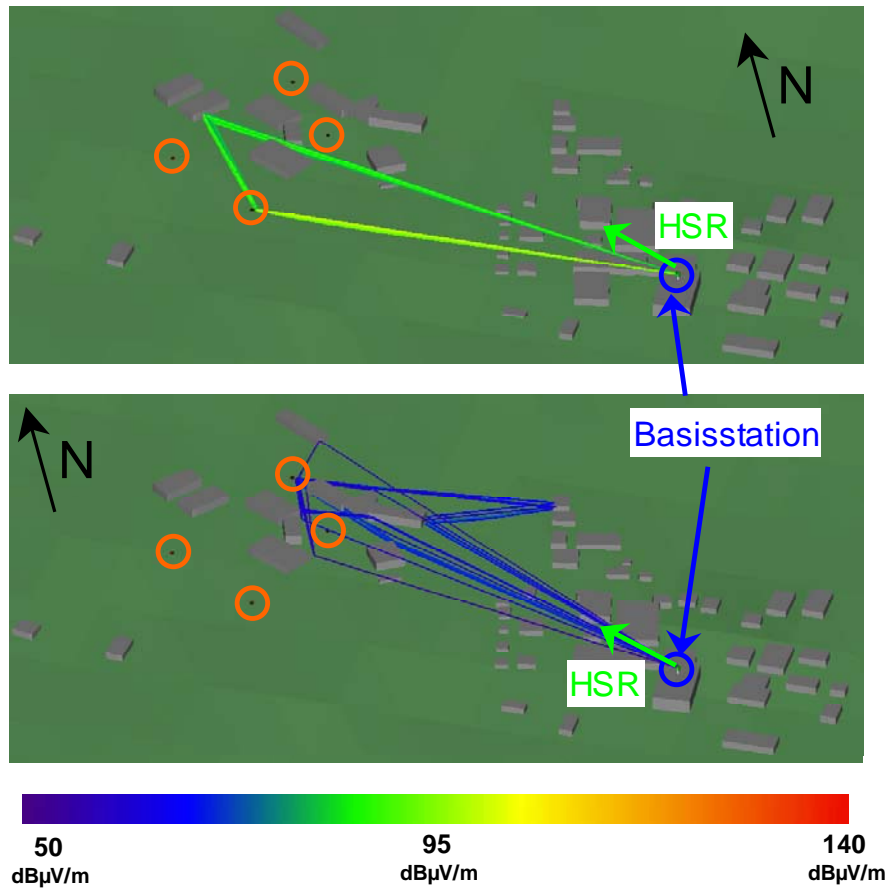


Bild III.6.5: Simulationsergebnis mit Wireless Insite (Ausbreitungspfade) für das Szenario 1

Im Gegensatz zu dem Simulationsergebnis von EFC-400 ist bei Wireless Insite eine Berechnung der flächigen Verteilung der Immission im gesamten Simulationsgebiet aus rechen-technischer Kapazität und Simulationszeit nicht möglich.

Bild III.6.6 zeigt die flächig berechnete Immissionsverteilung von Winprop. Entsprechend der vorangegangenen Darstellungsweise sind die Nordrichtung und die der Berechnung zugrunde liegenden Hauptstrahlrichtung der Mobilfunksendeanlage eingezeichnet.

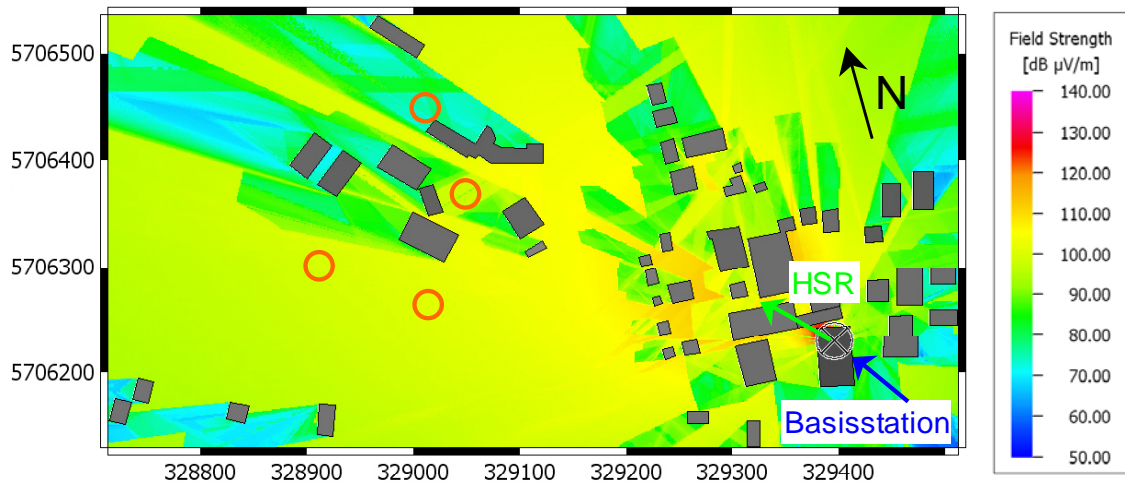


Bild III.6.6: Simulationsergebnis von Winprop für das Szenario 1

Die Feldstärkewerte innerhalb der vier Vergleichsgebiete werden im Folgenden entsprechenden messtechnisch ermittelten Immissionen gegenüber gestellt. Zusätzlich zu den drei bereits beschriebenen Berechnungen wurde noch eine Berechnung durchgeführt, die auf Freiraumausbreitung ohne Berücksichtigung von Gebäuden inklusive eines Zuschlags von 3 dB zur Berücksichtigung von Reflexionen beruht. Diese wurde mit dem Programm Fieldview durchgeführt. Angemerkt sei an dieser Stelle nochmals, dass diese Berechnungsart natürlich auch mit den übrigen Softwarepaketen möglich ist.

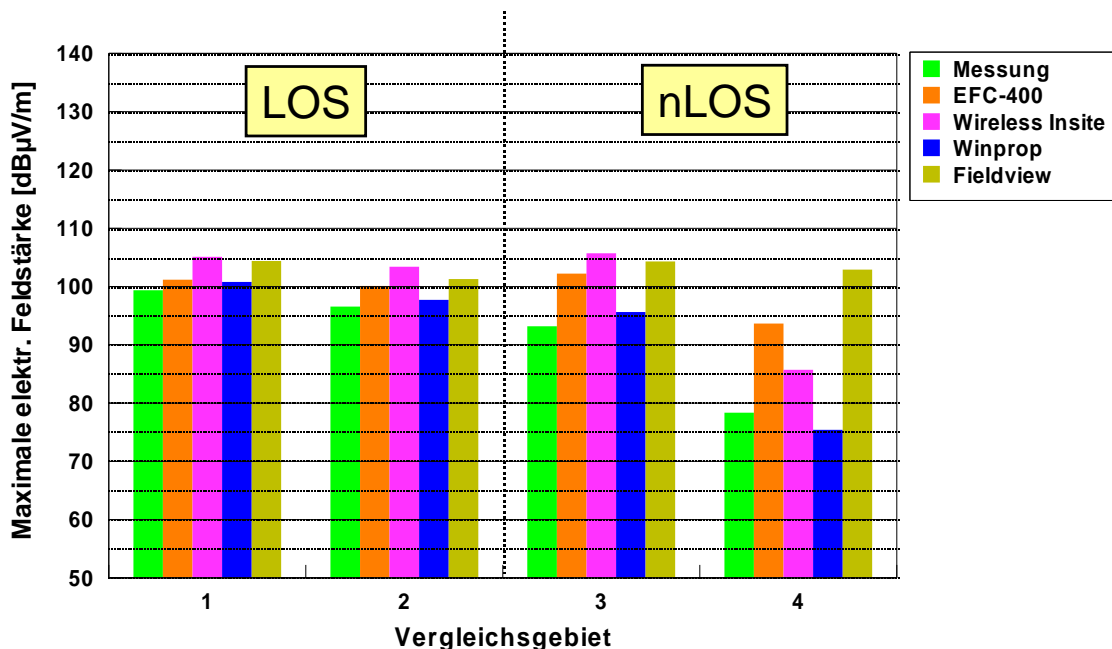


Bild III.6.7: Simulationsergebnisse im Vergleich zum Messergebnis für die verschiedenen Vergleichsgebiete für das Szenario 1

Zunächst sei bei obigen Bild darauf hingewiesen, dass die maximale elektrische Feldstärke dargestellt ist, da sowohl bei der Messung durch die Schwenkmethode als auch bei der

Berechnung nicht die Feldstärke an einem einzelnen Punkt sondern die maximale elektrische Feldstärke innerhalb der Vergleichsgebiete gesucht wurde.

Aus obigem Bild lässt sich erkennen, dass die Ergebnisse zwischen den einzelnen Softwarepaketen bei einer vorliegenden Sichtverbindung zur Sendeanlage wesentlich homogener sind als bei fehlender Sichtverbindung. Dies wird auch durch die maximale Schwankungsbreite der Berechnungsergebnisse von 5 dB bei LOS und 10-20 dB (27 dB bei Berücksichtigung des Berechnungsergebnisse von Fieldview) bei NLOS untermauert.

Interessant sind darüber hinaus die Resultate in den beiden Vergleichsgebieten, bei denen keine direkte Sicht zur Sendeanlage vorlag. In diesem Zusammenhang sei nochmals kurz erwähnt, dass bei den Berechnungen mit EFC-400 und Wireless Insite Transmissionen durch Gebäude berücksichtigt wurden, wohingegen diese bei den Berechnungen mit Winprop softwarebedingt unberücksichtigt bleiben. Der Vergleich zwischen Messung und Berechnung in den NLOS Gebieten zeigt, dass Winprop die gemessenen Immissionen genauer widerspiegelt als dies in den beiden anderen Programmen der Fall ist. Eine Dämpfung von 4 dB (siehe Abschnitt II.3.1) bezogen auf die Transmission durch Gebäude scheint demnach zu klein gewählt zu sein. Dieser Sachverhalt wird in den folgenden Szenarien noch näher untersucht. Allerdings führt die Vernachlässigung der Gebäudetransmission bei Winprop im Vergleichsgebiet 4 zu einer in Relation zum Messwert kleineren Immissionsprognose.

Dies wird auch durch die Abweichungen zwischen Berechnung und Messung mit den einzelnen Programmen verdeutlicht, die in nachfolgendem Bild detailliert dargestellt sind.

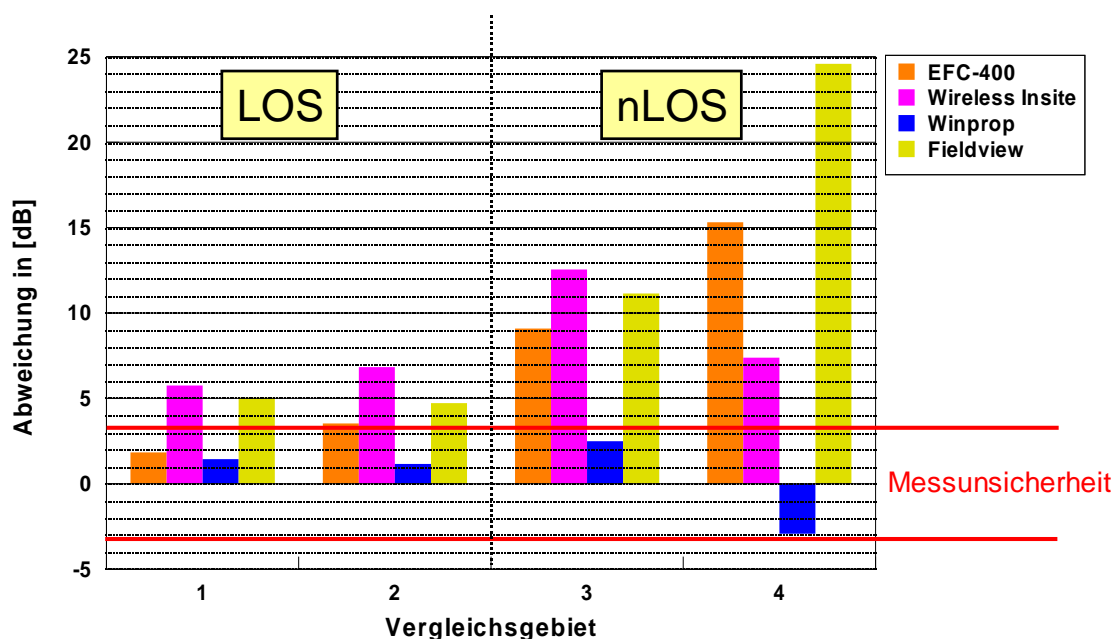


Bild III.6.8: Abweichung zwischen Berechnung und Messung für das Szenario 1 (Berechnungswert minus Messwert in [dB])

Die Abweichungen in obigem Bild ergeben sich aus der Differenz zwischen dem berechneten und dem gemessenen Feldstärkewert. Eine positive Abweichung entspricht demnach einer Überschätzung und eine negative Abweichung einer Unterschätzung. Darüber hinaus ist der Bereich der Messunsicherheit von ungefähr 3,2 dB eingezeichnet. Liegt ein Berech-

nungsergebnis innerhalb dieses Bereiches, kann von einer guten Vorhersage gesprochen werden. In obigen Bild ist hierbei aber noch zu berücksichtigen, dass bei EFC-400 und Wireless Insite Gebäudedämpfungen von 4 dB angenommen wurden, die, wie auch die Resultate widerspiegeln, zu klein gewählt sind. Eine höhere Transmissionsdämpfung scheint demnach notwendig zu sein, um die realen Immissionen genauer prognostizieren zu können. Dieses wird in den nachfolgenden Szenarien noch näher untersucht. Hinzukommend fällt auf, dass sowohl Wireless Insite als auch Fieldview die reale Immission in der LOS-Situation überschätzen. Die Ursache hierfür kann möglicherweise darin begründet liegen, dass Bäume, die sich zwar nicht im direkten Pfad aber in anderen Ausbreitungswegen (z.B. durch Reflexionen an Gebäuden) befanden, nicht in der Simulation berücksichtigt wurden.

In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Simulationszeiten für das in diesem Abschnitt betrachtete Szenario dargestellt.

	<b>EFC-400</b>	<b>Wireless Insite</b>	<b>Winprop</b>
Zeitdauer in [h]	7	11	4 + 1

Tabelle III.6.3: Zeitdauer für die Simulationen

Bezüglich der Simulationsdauer der einzelnen Programme sind folgende Punkte zu beachten: Bei Wireless Insite ist anzumerken, dass die Immissionsverteilung nicht flächendeckend berechnet wurde, sondern nur in den jeweiligen Vergleichsgebieten. Die Zeitdauer von Winprop setzt sich aus zwei Zeiten zusammen: Zunächst wird ein so genanntes „Preprocessing“ einmalig durchgeführt. Für die anschließende Immissionsberechnung wird dann für beliebige Senderstandorte eine geringere Simulationszeit benötigt. Bei Variation von Senderstandorten innerhalb einer Modellierungsumgebung bietet dies eine deutliche Zeitminimierung.

Über den reinen Vergleich zwischen Messung und Berechnung hinaus wurde die hier betrachtete Konfiguration dazu verwendet, typische Dämpfungswerte für die Immissionen innerhalb von Gebäude zu bestimmen. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass es für eine Berechnung im gesamten Versorgungsgebiet einer UMTS-Zelle aufgrund der großen Anzahl von Gebäuden zu aufwändig wäre, diese alle durch einzelne Wände inklusive Innenwände zu modellieren. Daher wurden berechnete Immissionswerte *außerhalb* des Gebäudes mit entsprechenden Messwerten *innerhalb* des Gebäudes verglichen. Hierdurch ist es möglich, eine Größenordnung für einen Dämpfungs- bzw. Reduktionsfaktor zu bestimmen.

In folgendem Bild ist dieses Szenario in der Aufsicht zu sehen.

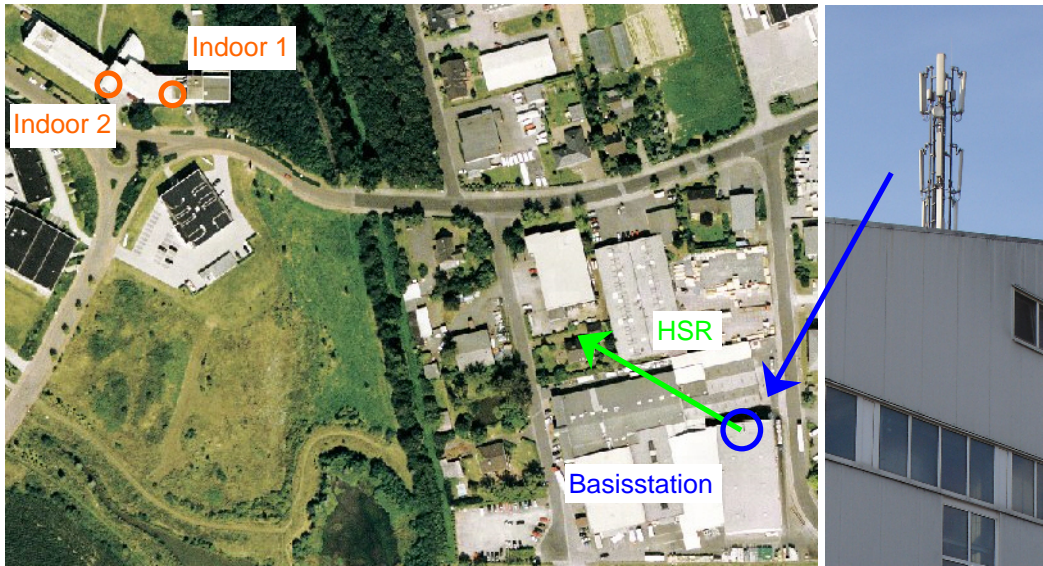


Bild III.6.9: Verteilung der Messpunkte für die Bestimmung eines Dämpfungsfaktors

Die mit den einzelnen Programmen berechneten Ergebnisse vor dem Gebäude mit den entsprechend messtechnisch bestimmten Immissionen *innerhalb* des Gebäudes sind in Bild III.6.10 dargestellt.

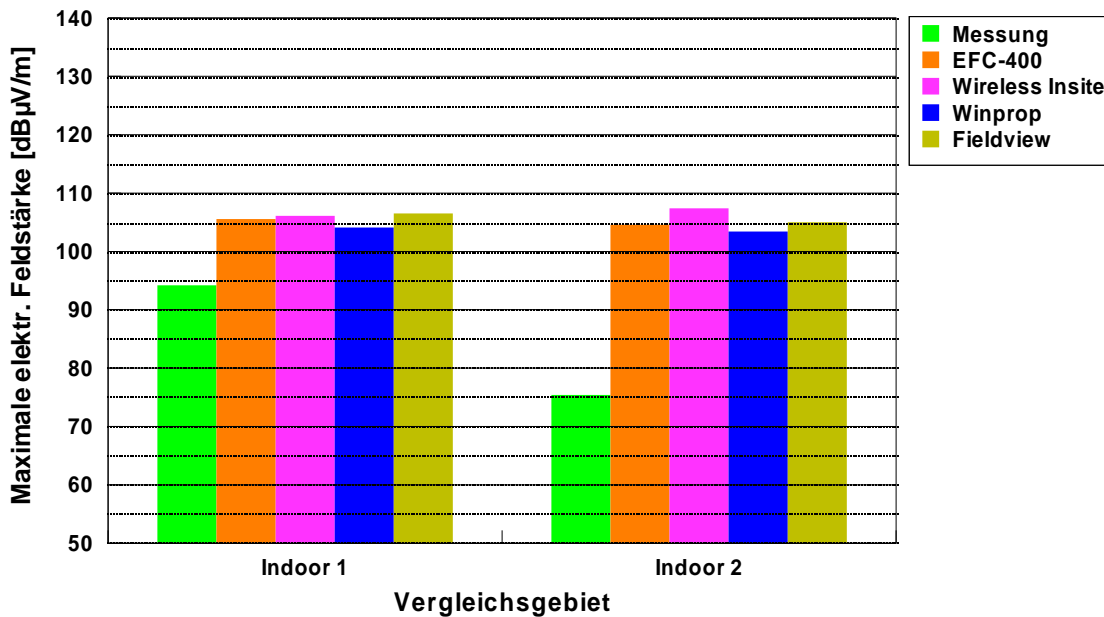


Bild III.6.10: Simulationsergebnisse (außerhalb des Gebäudes) im Vergleich zum Messergebnis (innerhalb des Gebäudes)

In obigem Bild ist die Achsenbeschriftung „Maximale elektrische Feldstärke“ vor dem Hintergrund zu sehen, dass sowohl bei der Messung durch die Schwenkmethode als auch bei der Berechnung nicht die Feldstärke an einem einzelnen Punkt, sondern die maximale elektrische Feldstärke innerhalb der Vergleichsgebiete gesucht wurde. Die Berechnungswerte verdeutlichen, dass alle Programme relativ homogen verteilte Ergebnisse liefern. Werden nun die Simulationsergebnisse mit den Messungen innerhalb des Gebäudes in Beziehung

gesetzt, so treten hier Unterschiede von 10 – 30 dB zu Tage. Diese sind aber abhängig von den vorherrschenden Sichtbedingungen und von den unterschiedlichen verwendeten Materialien. So bestand zum Beispiel in Vergleichsgebiet 2 zwar eine direkte Sichtverbindung zur Basisstation, aber durch die in diesem Bereich eingesetzten metallbedampften Thermofenster zeigte sich eine Dämpfung der Immission von 30 dB.

Das obige Beispiel kann demnach keine allgemeingültigen Werte, sondern nur Größenordnungen liefern, in denen sich die Immissionswerte außerhalb des Gebäudes von denen innerhalb des Gebäudes unterscheiden können.

Der hier durchgeführte Vergleich zeigt, dass die Abweichungen zwischen den Immissionswerten innerhalb eines Gebäudes bezogen auf die außerhalb berechneten Werte eine große Schwankungsbreite haben können.

### III.6.4 Konfiguration 2: Pikozone (outdoor)

Das bereits in Abschnitt III.2.10 messtechnisch charakterisierte Szenario „Pikozone“ liegt dem folgenden Vergleich zwischen Messung und Berechnung zu Grunde. Die kleinzellige UMTS Sendestruktur befindet sich auf dem Messegelände der Messe Düsseldorf. Das anschließende Bild gibt einen Überblick über das Szenario. Wiederum sind der Sendestandort der Basisstation und die hier betrachteten zwei Vergleichsgebiete dargestellt. Mit HSR ist die Hauptstrahlrichtung der für die Simulation herangezogenen Sendeantenne gemeint.

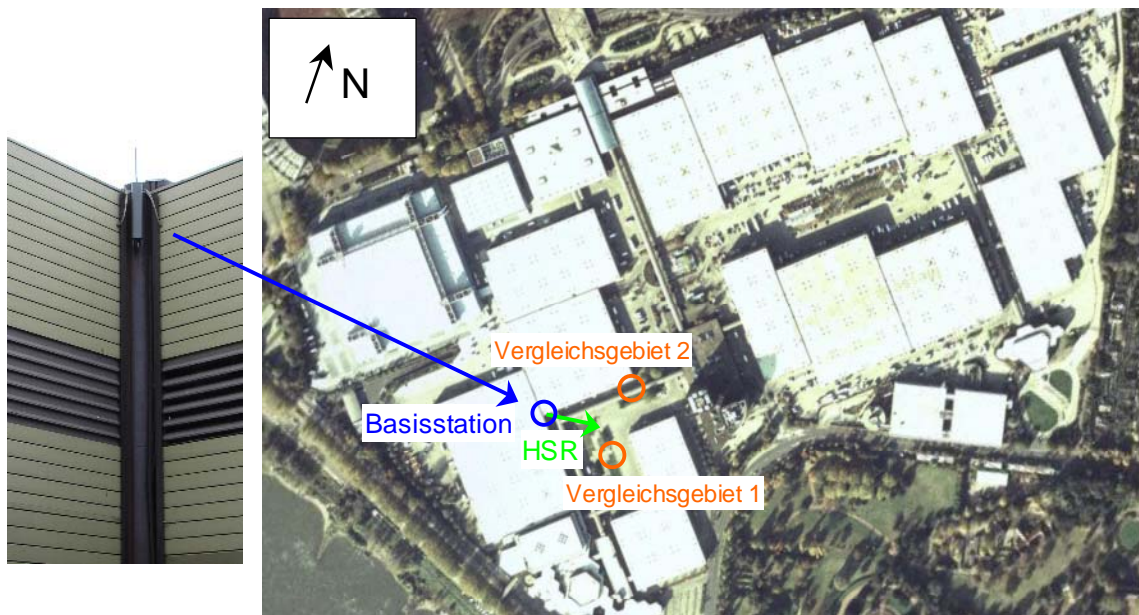


Bild III.6.11: Überblick über das Szenario 2

Die anschließende Tabelle gibt einen Überblick über die Sichtverhältnisse der Vergleichsgebiete zu den jeweiligen Messpunkten und die entsprechenden Abstände. Daran anschließend sind die Simulationsparameter dargestellt.

Szenario	(2) Pikozone (Outdoor)	
	Sichtverhältnis zur Basisstation	Laterale Entfernung zur Basisstation in [m]
Vergleichsgebiet 1	LOS	111
Vergleichsgebiet 2	LOS	107

Tabelle III.6.4: Überblick über die Sichtverhältnisse und Abstände für das Szenario 2

Ort:	Messegelände Düsseldorf 40474 Düsseldorf				
Frequenz in [MHz]	HSR in [°]	Höhe in [m]	Downtilt elektrisch in [°] (beantragt)	Antenne und Länge in [m]	CPICH-Leistung am Antenneneingang in [dBm]
2112,8	0	6,4	0-8	K 742264 1,6	36,1

Tabelle III.6.5: Simulationsparameter für das Szenario 2

In Bild III.6.12 ist die flächige Immissionsverteilung von EFC-400 dargestellt. Neben der Lage der Basisstation, der Vergleichsgebiete und der Hauptstrahlrichtung der der Berechnung zu Grunde liegenden Mobilfunkantenne ist auch die Nord-Richtung eingezeichnet.

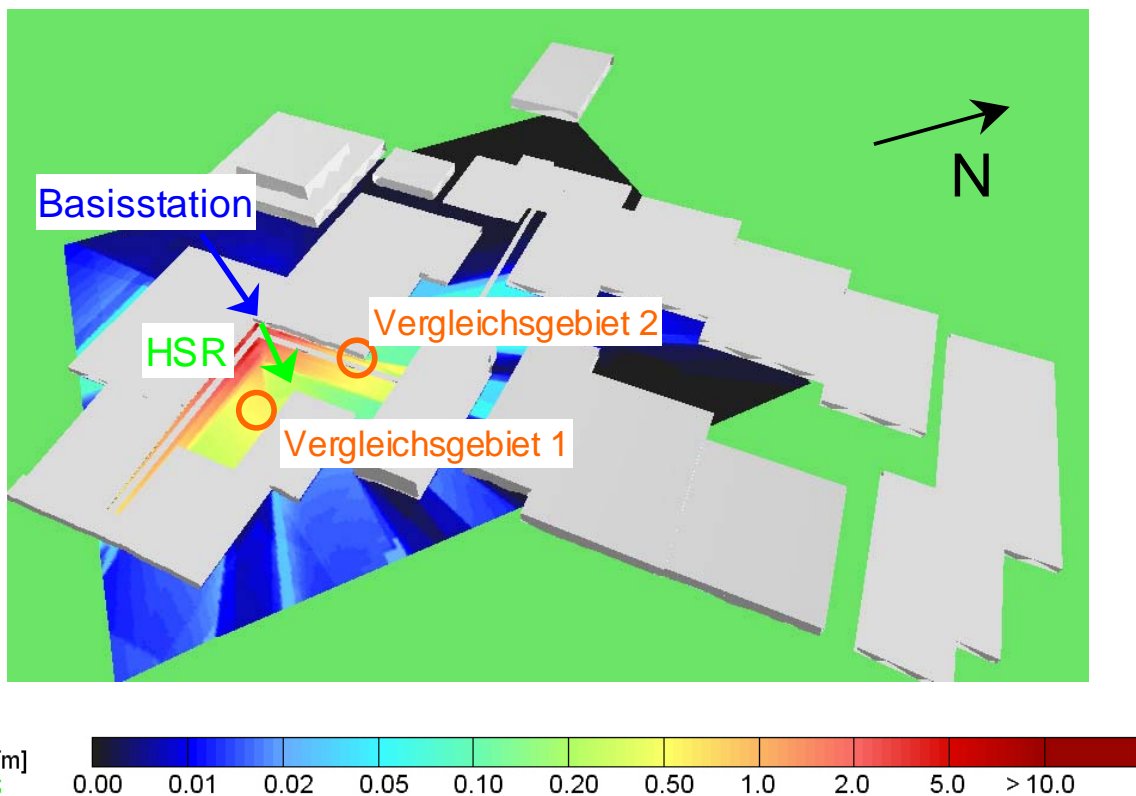


Bild III.6.12: Simulationsergebnis von EFC-400 für das Szenario 2



Die Modellierungsumgebung und die Ausbreitungswege zu den jeweils 300 Empfangsantennen in den zwei Vergleichsgebieten (siehe Bild III.6.1) von Wireless Insite sind in Bild III.6.13 dargestellt.

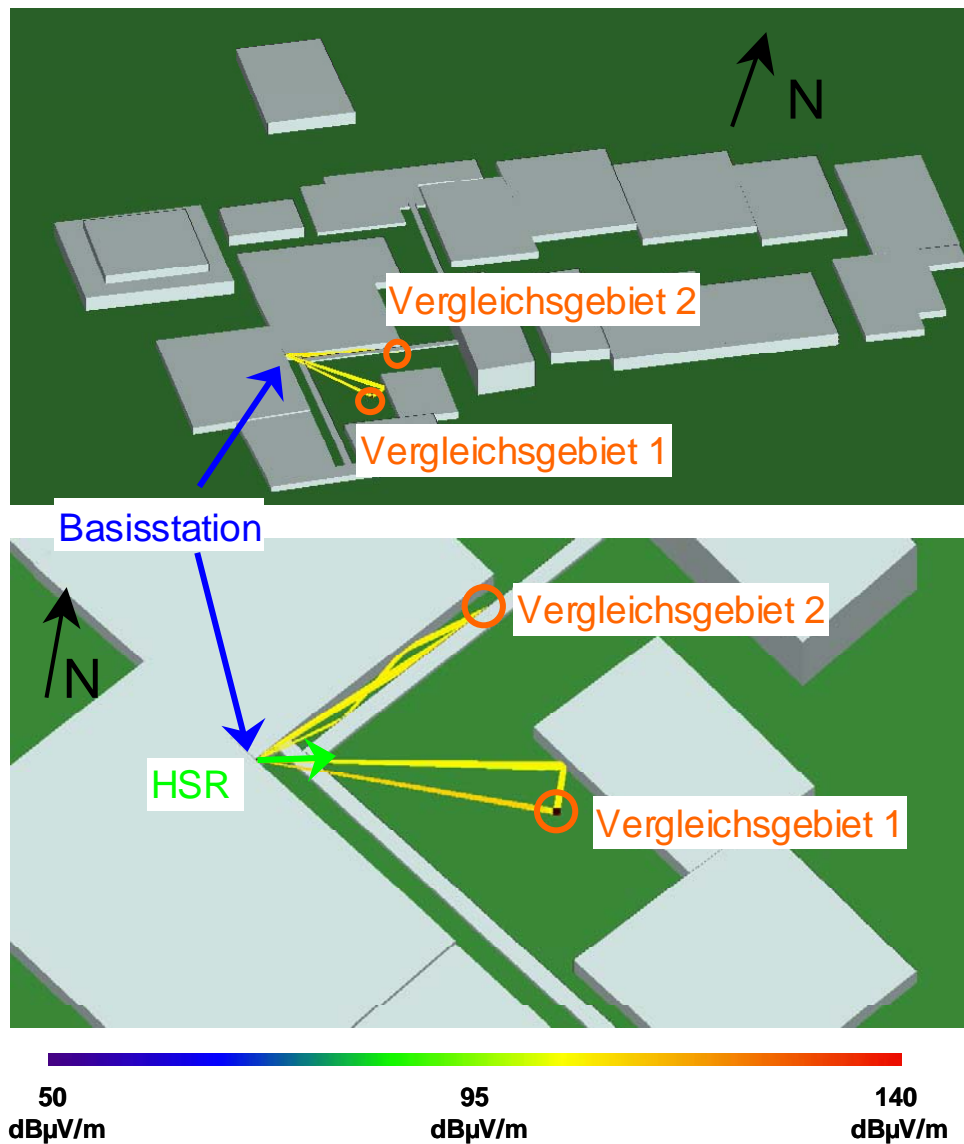


Bild III.6.13: Simulationsergebnis von Wireless Insite für das Szenario 2

Bild III.6.14 zeigt die flächig berechnete Immissionsverteilung von Winprop. Entsprechend der vorangegangenen Darstellungsweise sind auch hier die Nordrichtung, die Hauptstrahlrichtung der betrachteten Mobilfunksendeanlage und die Lage der Basisstation bzw. Vergleichsgebiete eingezeichnet.

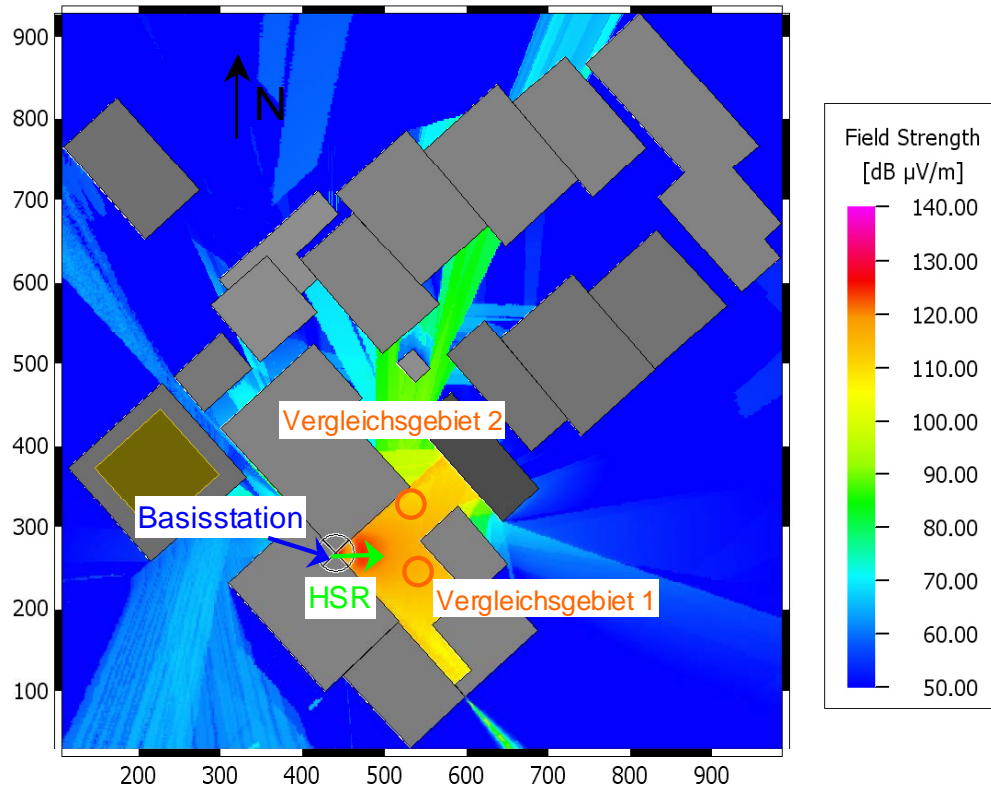


Bild III.6.14: Simulationsergebnis von Winprop für das Szenario 2

Im Folgenden werden die berechneten Feldstärkewerte innerhalb der zwei Vergleichsgebiete mit entsprechenden messtechnisch ermittelten Immissionen verglichen. Zusätzlich zu den drei bereits beschriebenen Berechnungen wurde wie schon aus den vorangegangenen Szenarien bekannt eine Berechnung durchgeführt, die auf Freiraumausbreitung ohne Berücksichtigung von Gebäuden inklusive eines Zuschlags von 3 dB beruht.

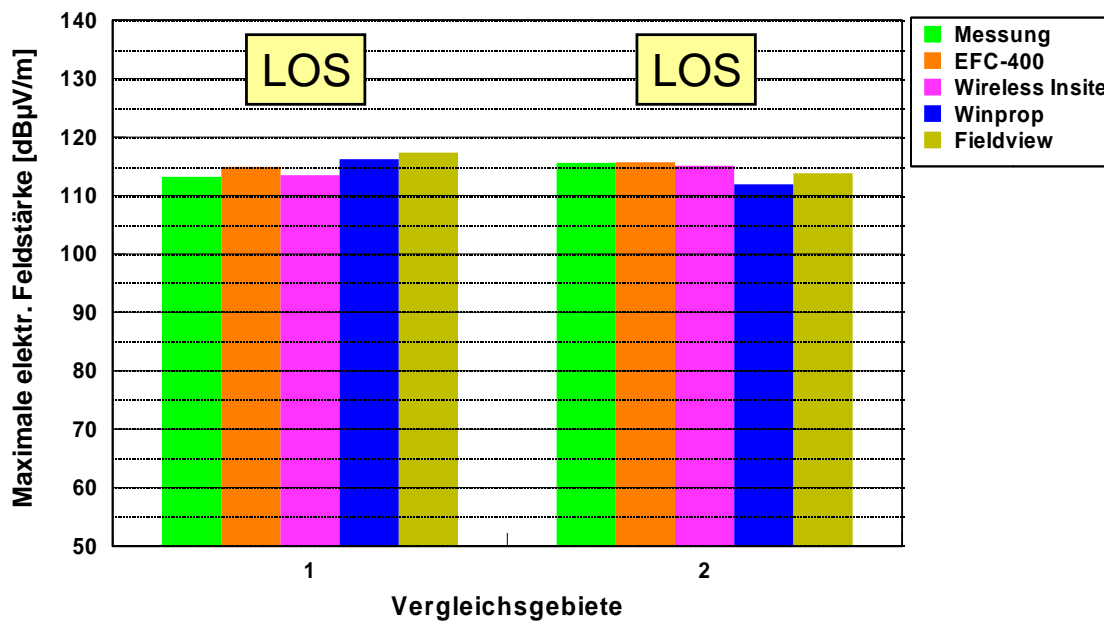


Bild III.6.15: Simulationsergebnisse im Vergleich zum Messergebnis für die verschiedenen Vergleichsgebiete für das Szenario 2

Die Achsenbeschriftung „Maximale elektrische Feldstärke“ ist auch hier vor dem Hintergrund zu sehen, dass sowohl bei der Messung durch die Schwenkmethode als auch bei der Berechnung nicht die Feldstärke an einem einzelnen Punkt, sondern die maximale elektrische Feldstärke innerhalb der Vergleichsgebiete gesucht wurde. Die maximale Schwankungsbreite der Berechnungsergebnisse liegt in den hier betrachteten zwei Vergleichsgebieten bei knapp 4 dB und damit in einer ähnlichen Größenordnung, wie es schon bei dem Szenario „Gewerbegebiet“ aus Abschnitt III.6.3 in den Vergleichsgebieten mit direkter Sicht zur Sendeantenne der Fall war.

In folgendem Bild sind die jeweiligen Abweichungen in dB zwischen Berechnung und Messung dargestellt. Eine positive Abweichung bedeutet eine Überschätzung des Messwertes und eine negative entsprechend eine Unterschätzung.

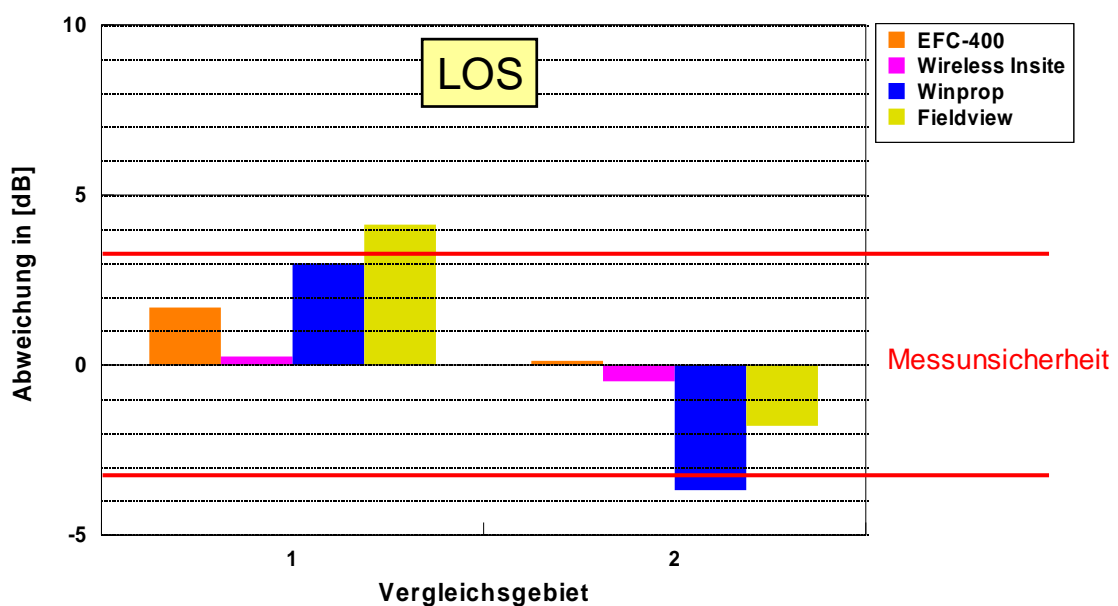


Bild III.6.17: Abweichung zwischen Berechnung und Messung für das Szenario 2

Unter Berücksichtigung der Messunsicherheit von ca. 3 dB geben die Programme insgesamt gesehen eine gute Prognose wider. Auffällig ist im Vergleichsgebiet 2 die Unterschätzung der gemessenen Immission von Winprop mit 3,7 dB. Dies hat vermutlich folgende Ursache: Im Gegensatz zu der Modellierungsumgebung von EFC-400 und Wireless Insite konnte in Winprop eine über das Gelände führende Fußgängerbrücke (vgl. hierzu Bild III.2.45) nicht modelliert werden (dies gilt für alle „schwebenden“ Teile in der hier betrachteten Programmversion). Hierdurch verursachte Reflexionen blieben dementsprechend in der Berechnung von Winprop unberücksichtigt, wodurch die Unterbewertung zu erklären ist.

In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Simulationszeiten für das in diesem Abschnitt betrachtete Szenario dargestellt.

	EFC-400	Wireless Insite	Winprop
Zeitdauer in [h]	1	5	1 + 0,1

Tabelle III.6.6: Zeitdauer für die Simulationen für das Szenario 2

Bei den Simulationszeiten ist zu beachten, dass bei Wireless Insite die Immissionsverteilung nicht flächendeckend berechnet wurde, sondern nur an den jeweils 300 Punkten in den Vergleichsgebieten. Die Simulationszeit bei Winprop setzt sich erneut aus der Zeit für die Vorverarbeitung und der Immissionsberechnung zusammen.

### III.6.5 Konfiguration 3: Pikozone (indoor)

Für die Konfiguration Pikozone (indoor) wird die bereits in Abschnitt III.2.9 messtechnisch charakterisierte Messehalle 3 auf der Messe Düsseldorf herangezogen.

Die Abmaße der Halle, die Lage der UMTS-Sendeantennen und der entsprechenden Vergleichsgebiete zwischen Messung und Berechnung sind in Bild III.6.18 in der Aufsicht dargestellt. Insgesamt sind 6 Mobilfunkantennen in der Halle verteilt.

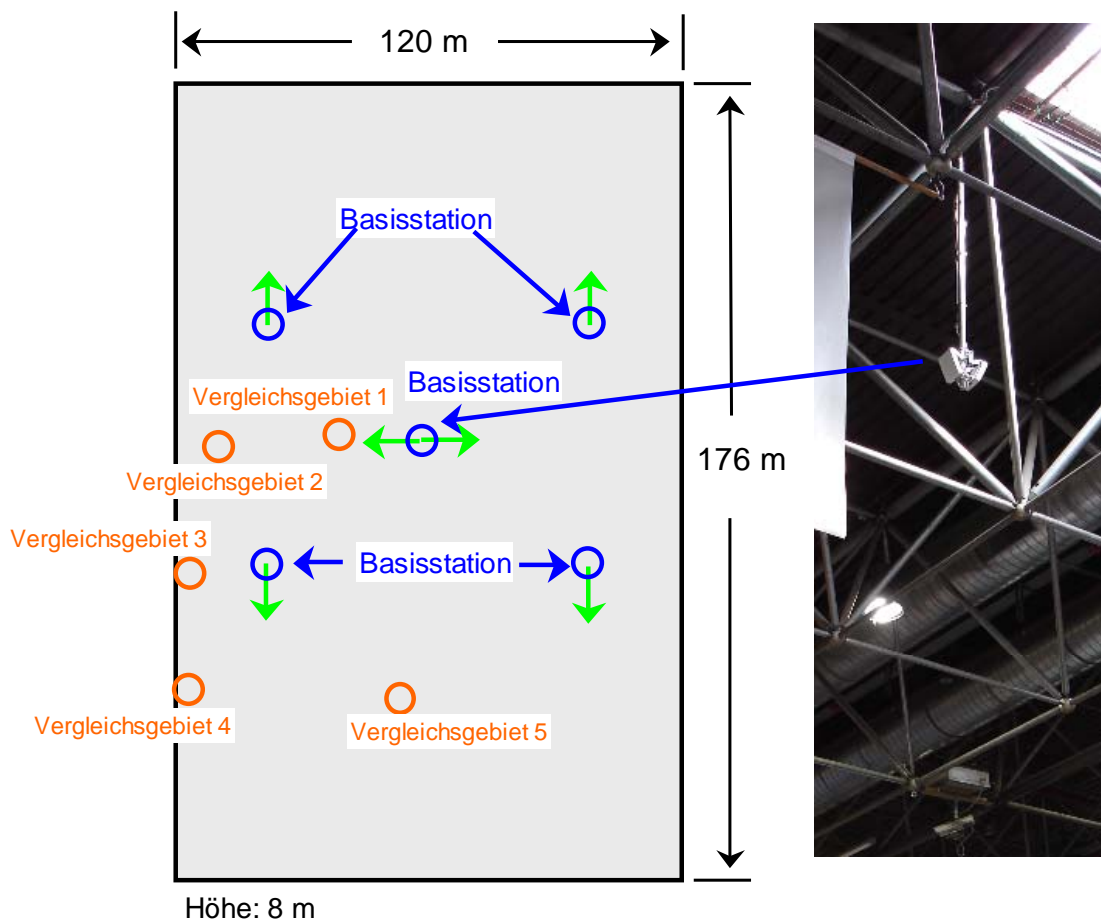


Bild III.6.18: Messehalle 3 mit den zugehörigen Basisstationen und Vergleichsgebieten

Da die aus Bild III.6.18 (links) im oberen Bereich befindlichen Antennen die Immissionen in den Vergleichsgebieten nicht nennenswert beeinflussen - sie liegen in Rückstrahlrichtung - werden diese in den nachfolgenden Simulationen nicht weiter berücksichtigt. Als Material für die umgebenen Wände wurde Beton angenommen. Hierzu wurden die Angaben für dieses Material aus der Software Wireless Insite mit einer relativen Permittivität von 15 und einer Leitfähigkeit von 0,015 S/m verwendet. Bei EFC-400 wurde ein leistungsbezogener Reflexionsfaktor von 60 % angenommen.

Die anschließende Tabelle gibt einen Überblick über die Abstände der Vergleichsgebiete zu der am nächsten gelegenen Basisstation an. Da in den nachfolgenden Berechnungen die einzelnen Messestände nicht berücksichtigt wurden, wurde im Gegensatz zu den vorherigen Beispielen bewusst auf eine Klassifizierung der Sichtverhältnisse in der nachfolgenden Tabelle verzichtet.

<b>Szenario</b>	<b>(3) Pikozone (Indoor)</b>
	<b>Laterale Entfernung zur nächsten Basisstation in [m]</b>
Vergleichsgebiet 1	20
Vergleichsgebiet 2	46
Vergleichsgebiet 3	19
Vergleichsgebiet 4	36
Vergleichsgebiet 5	44

Tabelle III.6.7: Überblick über die Abstände der Vergleichsgebiete für das Szenario 3

<b>Ort:</b>	<b>Messegelände Düsseldorf 40474 Düsseldorf</b>				
<b>Frequenz in [MHz]</b>	<b>Höhe in [m]</b>	<b>Downtilt mechanisch in [°]</b>	<b>Downtilt elektrisch in [°]</b>	<b>Antenne und Länge in [m]</b>	<b>CPICH-Leistung am Antenneneingang in [dBm]</b>
2112,8	6,5	20	14	K 742149 0,2	16,88 (BS Mitte) 12,98 (BS unten)

Tabelle III.6.8: Simulationsparameter für das Szenario 3

In Bild III.6.19 sind die Resultate von EFC-400 zum einen dreidimensional und zum zweiten zur besseren Übersicht zweidimensional dargestellt.

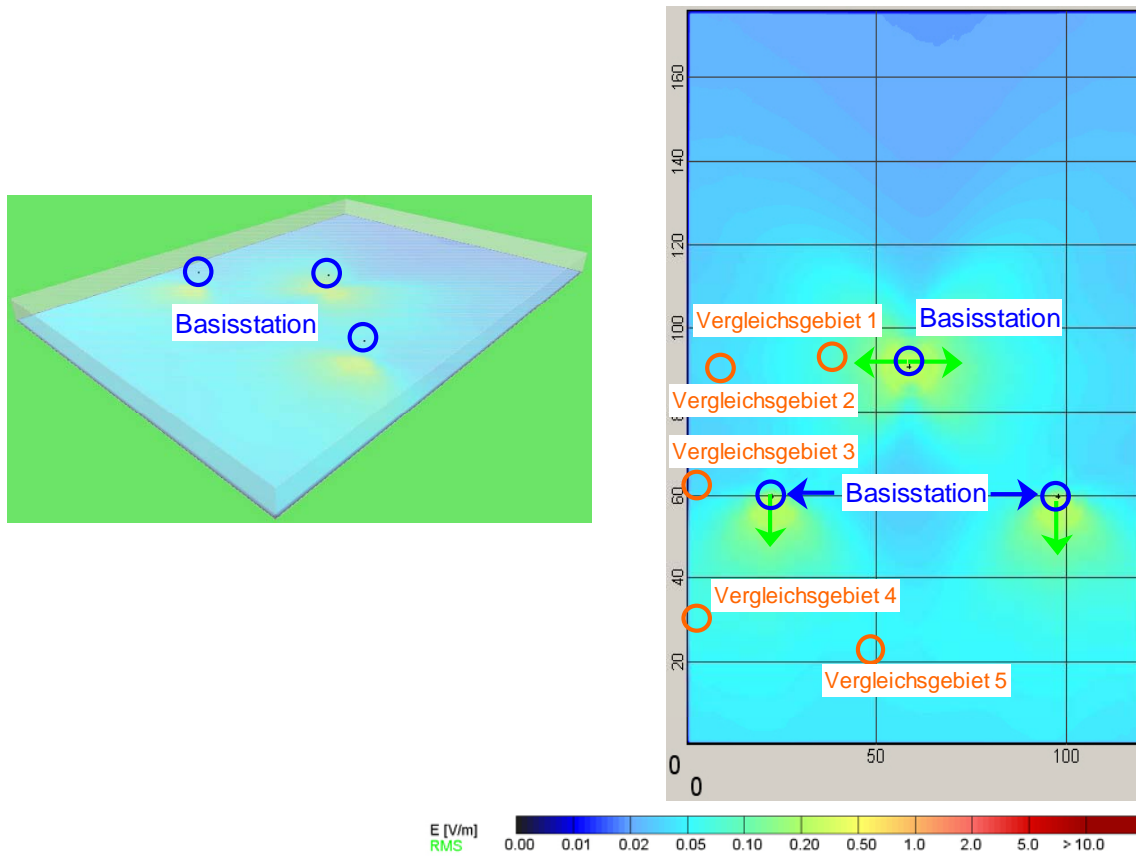


Bild III.6.19: Simulationsergebnis mit EFC-400 für das Szenario 3

Die Modellierungsumgebung von Wireless Insite, die Lage der Vergleichsgebiete und der Mobilfunkantennen sind in folgendem Bild zu sehen.

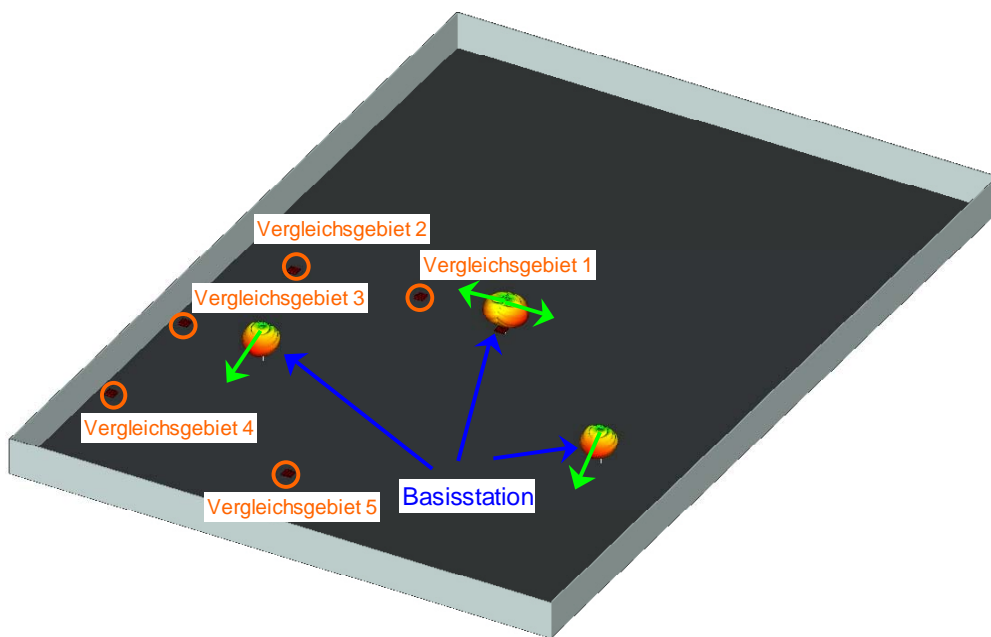


Bild III.6.20: Modellierungsumgebung mit Wireless Insite für das Szenario 3

Exemplarisch für die Simulationsergebnisse von Wireless Insite sind in Bild II.6.21 einige Ausbreitungswege zu den jeweils 300 Empfangsantennen in den sechs Vergleichsgebieten dargestellt.

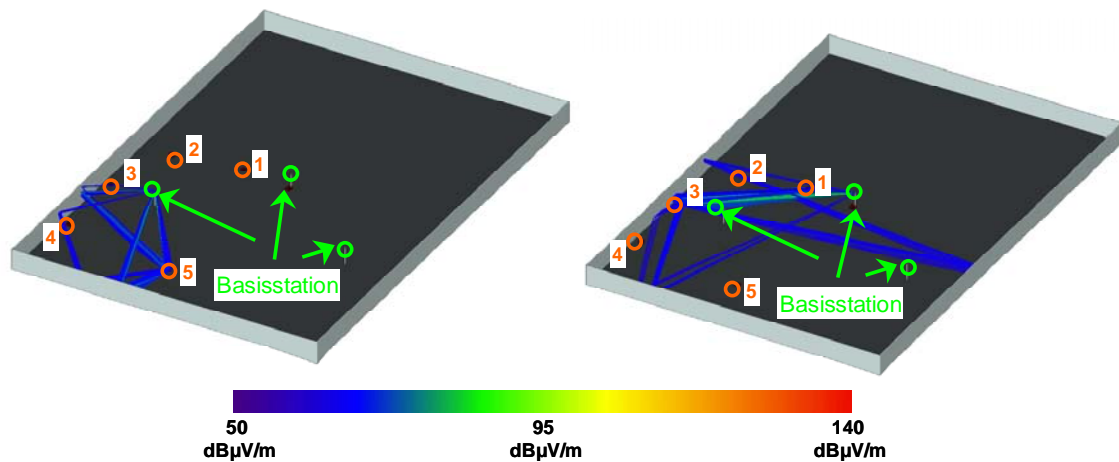


Bild III.6.21: Ausbreitungswege (exemplarisch) bei Wireless Insite für das Szenario 3

Im Gegensatz zu dem Simulationsergebnis von EFC-400 ist bei Wireless Insite die Berechnung einer flächigen Verteilung der Immission im gesamten Simulationsgebiet auch hier nicht möglich, was auch durch die benötigte Simulationszeit (s.u.) verdeutlicht wird (vgl. Tabelle III.6.9).

Das Bild III.6.22 zeigt die flächig berechnete Immissionsverteilung von Winprop. Entsprechend der vorangegangenen Darstellungsweise ist die jeweilige Hauptstrahlrichtung der betrachteten Mobilfunksendeanlage eingezeichnet.

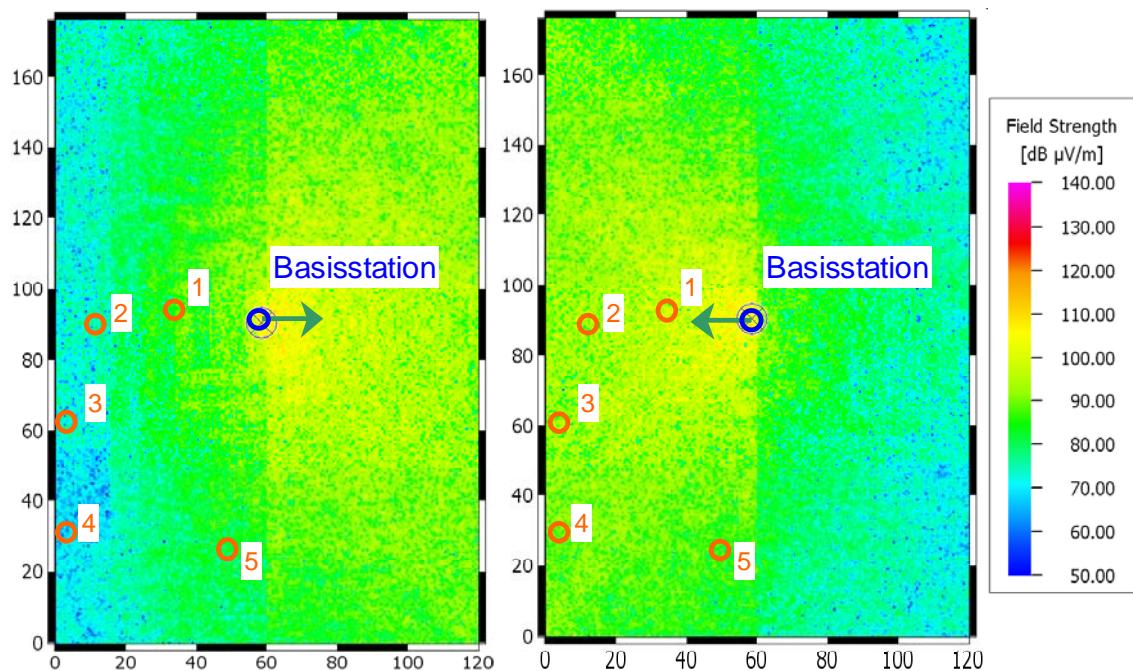


Bild III.6.22: Simulationsergebnisse von Winprop jeweils separat für eine Basisstation für das Szenario 3

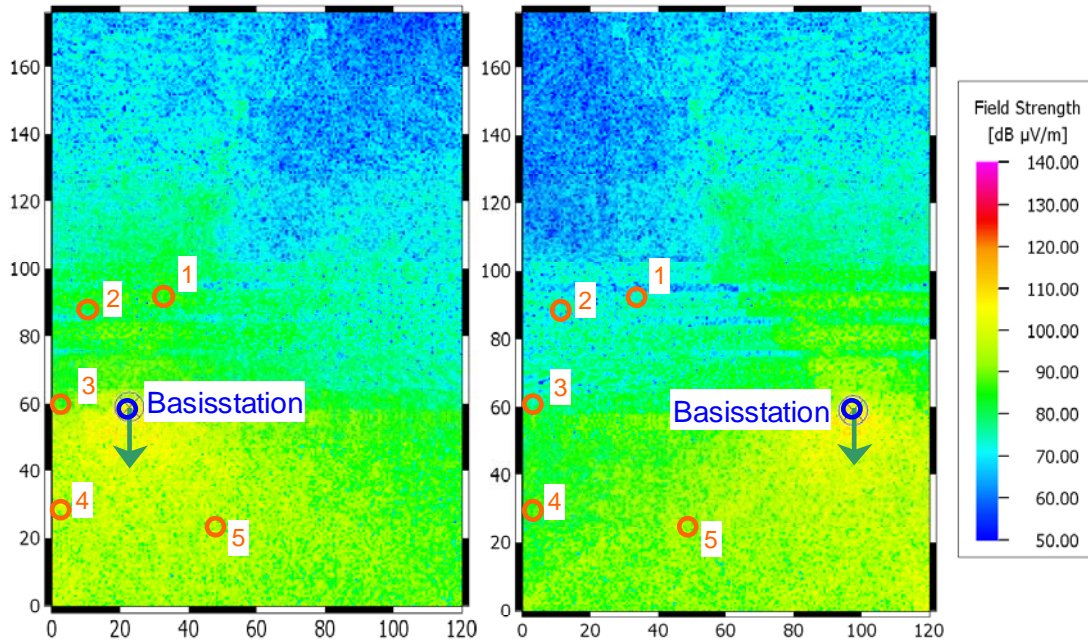


Bild III.6.23: Simulationsergebnisse von Winprop jeweils separat für eine Basisstation für das Szenario 3

Auffällig an den oberen beiden Bildern ist der Sprung der Immissionsverteilung zwischen der Region „vor“ und dem Bereich „hinter“ der Mobilfunkantenne. Dieser liegt in dem verwendeten synthetisierten Antennendiagramm begründet, da sich der Wert für die Auffüllung für den vorderen und den rückwärtigen Bereich der Abstrahlcharakteristik unterscheiden. Um nun auf die resultierende Feldstärke aller betrachteten Basisstationen schließen zu können, wurden die Feldstärken aus den Einzelsimulationen in den jeweiligen Vergleichsgebieten außerhalb der Software leistungsmäßig addiert. In Bild III.6.24 werden die Feldstärkewerte innerhalb der fünf Vergleichsgebiete mit entsprechenden messtechnisch ermittelten Immissionen in gewohnter Art und Weise vergleichend gegenübergestellt.

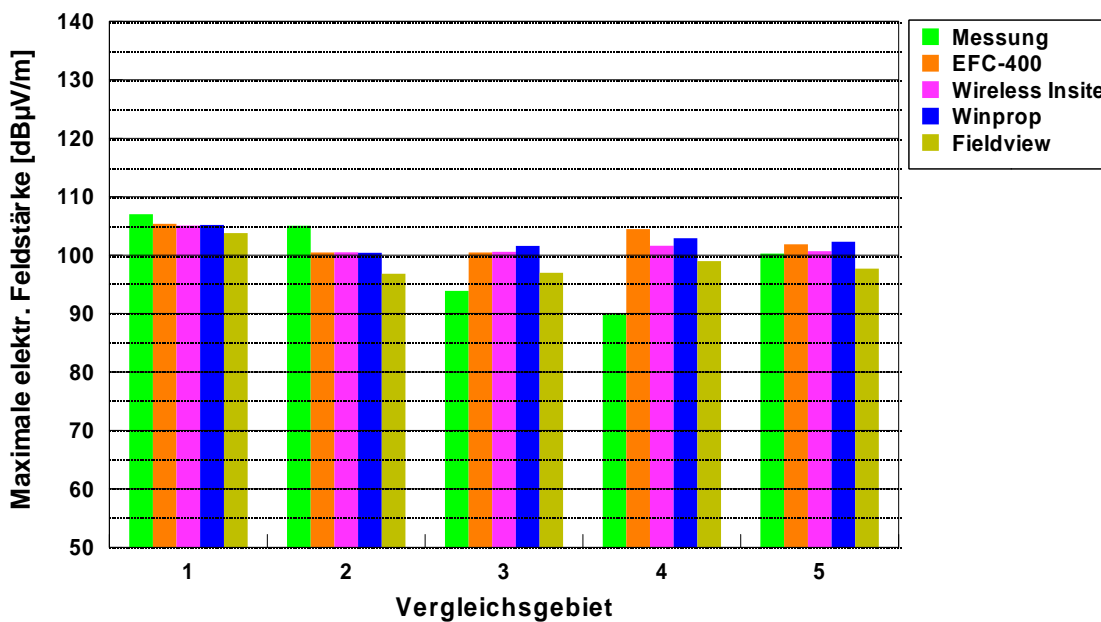


Bild III.6.24: Simulationsergebnisse im Vergleich zum Messergebnis für die verschiedenen Vergleichsgebiete für das Szenario 3



Da sowohl bei der Messung durch die Schwenkmethode als auch bei der Berechnung nicht die Feldstärke an einem einzelnen Punkt, sondern die maximale elektrische Feldstärke innerhalb der Vergleichsgebiete gesucht wurde, ist die „Maximale elektrische Feldstärke“ in Bild III.6.24 angegeben. Auf den ersten Blick fällt in dem vorangegangenen Bild auf, dass die einzelnen Simulationsergebnisse untereinander einigermaßen homogen verteilt sind. Dies zeigt sich auch in den maximalen Schwankungsbreiten von 5,5 dB bzw. 2,8 dB (ohne die Berücksichtigung der Methode „Freiraum + 3 dB“).

In gewohnter Art und Weise sind im nachfolgenden Bild die jeweiligen Abweichungen zwischen Berechnung und Messung zu sehen.

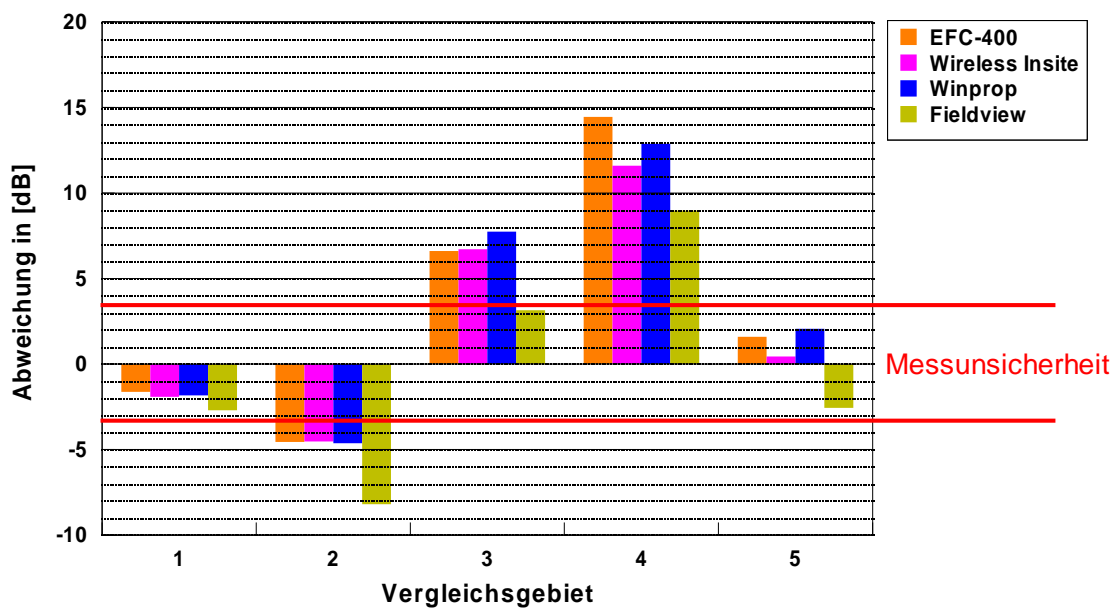


Bild III.6.25: Abweichung zwischen Berechnung und Messung für das Szenario 3

Bei der Betrachtung der Abweichungen in Bild III.6.25 zeigt sich bezüglich der einzelnen Berechnungsergebnisse für die jeweiligen Vergleichsgebiete untereinander nochmals die einigermaßen homogene Vorhersage der berechneten Immission.

Bezüglich der Abweichung in allen Vergleichsgebieten kann keine einheitliche Aussage getroffen werden: So treten sowohl unter Berücksichtigung der Messungenauigkeit gute Prognosen, aber auch Unter- bzw. Überschätzungen auf. Diese können darin begründet liegen, dass die einzelnen Messestände in der Halle nicht modelliert werden konnten. In Vergleichsgebiet 2 fällt auf, dass trotz direkter Sicht zu einer Basisstation selbst die Methode „Freiraum + 3 dB“ die gemessene Immission unterschätzt. Dies liegt wahrscheinlich an der durch die Messestände bedingten stark reflektierenden Umgebung, die in den Berechnungen nicht modelliert wurde. In ähnlicher Art und Weise ist auch die deutliche Überschätzung in Vergleichsgebiet 4 zu erklären. Hier war die Sicht zur Basisstation, die sich in der Mitte der Halle befand, verdeckt. Die hierdurch bedingte Dämpfung wurde durch die Vernachlässigung der einzelnen Messestände in der Simulation nicht berücksichtigt.

In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Simulationszeiten für das in diesem Abschnitt betrachtete Szenario dargestellt.

	EFC-400	Wireless Insite	Winprop
Zeitdauer in [h]	1,5	4	1 + 0,2

Tabelle III.6.9: Zeitdauer für die Simulationen für das Szenario 3

Bei den Simulationszeiten ist zu beachten, dass bei Wireless Insite die Immissionsverteilung im Gegensatz zu den anderen zwei Programmen nicht flächendeckend berechnet wurde, sondern nur an den jeweils 300 Punkten in den fünf Vergleichsgebieten.

### III.6.6 Konfiguration 4: Immissionsverteilung auf einem von Häusern umringten Platz

Die im folgenden Abschnitt betrachtete Konfiguration basiert auf dem Szenario „Hoch montierte Antenne im städtischen Umfeld“ (vgl. Abschnitt III.2.5.3). Eine Aufsicht mit den zwei Vergleichsgebieten und die Mobilfunksendeanlage in der Seitenansicht sind in folgendem Bild dargestellt.

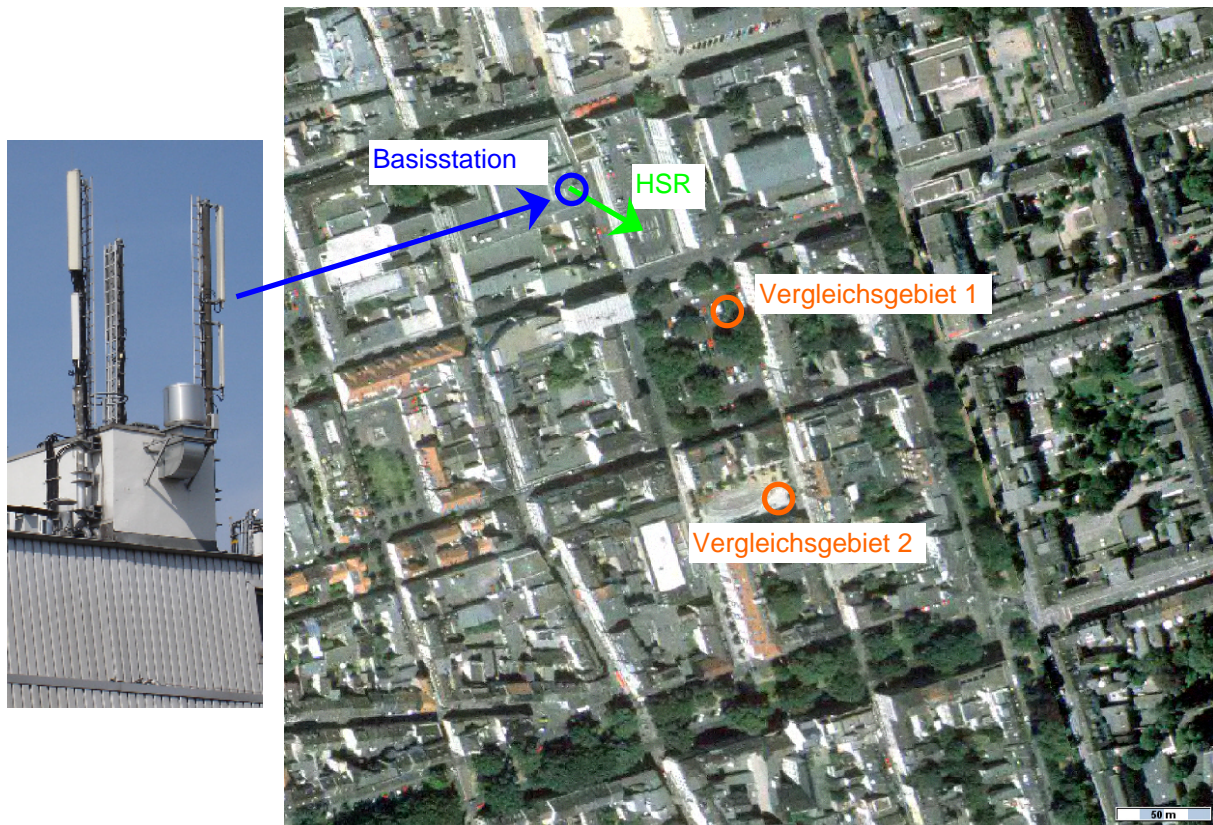


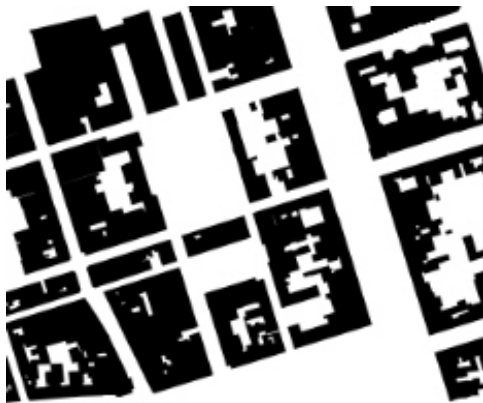
Bild III.6.26: Übersicht über das hier untersuchte Szenario 4

Im Gegensatz zu den Messungen aus Abschnitt III.2.5.3 wird bei den Berechnungen analog zu den vorherigen Szenarien nur ein Sektor und vor allem nur ein Betreiber der Sendeanlage betrachtet. In obigem Bild ist daher noch die entsprechende Hauptstrahlrichtung dieses

Sektors mit HSR eingezeichnet, dessen CPICH-Kanal den anschließenden Berechnungen zu Grunde liegt.

Die Modellierung der Gebäude basiert auf einem schwarz-weiß Bild der Gebäudegrundrisse vom Landesvermessungsamt NRW. Die Integration in die jeweiligen Programme wurde auf die Art und Weise durchgeführt, wie sie detailliert in Abschnitt II.3.1.1 beschrieben ist. Ergänzend wurde hierzu noch der im folgenden Bild dargestellte Arbeitsschritt durchgeführt. Das Originalbild wurde in der abgebildeten Weise bearbeitet, damit die automatisierte Modellierung der Gebäude durchgeführt werden konnte.

a) Originalgebäudedaten



b) Bearbeitete Gebäudedaten

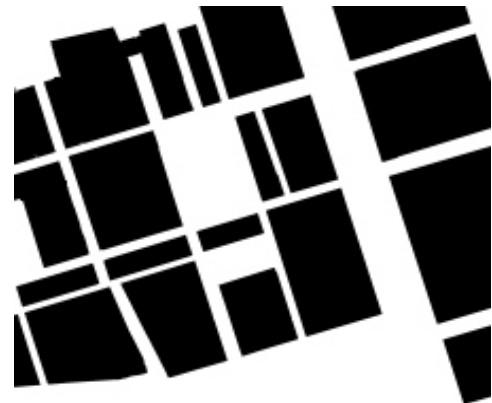


Bild III.6.27: Bearbeitung der Gebäudedaten für das Szenario 5

Die anschließende Tabelle gibt einen Überblick über die bei der Modellierung gewählten Sichtverhältnisse der Vergleichsgebiete zu den jeweiligen Messpunkten und die entsprechenden Abstände. Daran anschließend sind die Simulationsparameter dargestellt.

Szenario	(4) Basisstation auf einem Haus und Bestimmung der Immissionsverteilung auf einem von Häusern umringten Platz	
	Sichtverhältnis zur Basisstation	Laterale Entfernung zur Basisstation in [m]
Vergleichsgebiet 1	LOS	131
Vergleichsgebiet 2	NLOS	213

Tabelle III.6.10: Überblick über die Sichtverhältnisse und Abstände für das Szenario 4

Ort:	Hochstraße 57 47789 Krefeld				
Frequenz in [MHz]	HSR in [°]	Höhe in [m]	Downtilt elektrisch in [°] (beantragt)	Antenne und Länge in [m]	CPICH-Leistung am Antenneneingang in [dBm]
2167,2	120	26,4	0 - 8	K 742212 1,302	32

Tabelle III.6.11: Simulationsparameter für das Szenario 4

Die Berechnungsergebnisse aus Abschnitt III.6.3 haben gezeigt, dass eine Gebäudedämpfung von 4 dB zu niedrig gewählt war. Daher wurde bei dieser hier betrachteten Konfiguration zunächst untersucht, in welcher Größenordnung die Transmissionsdämpfung typischerweise liegt, um die reale Immissionsverteilung genauer prognostizieren zu können. Das folgende Bild zeigt hierfür die Simulationsergebnisse von EFC-400 für zwei Berechnungen mit unterschiedlichen Gebäudedämpfungen.

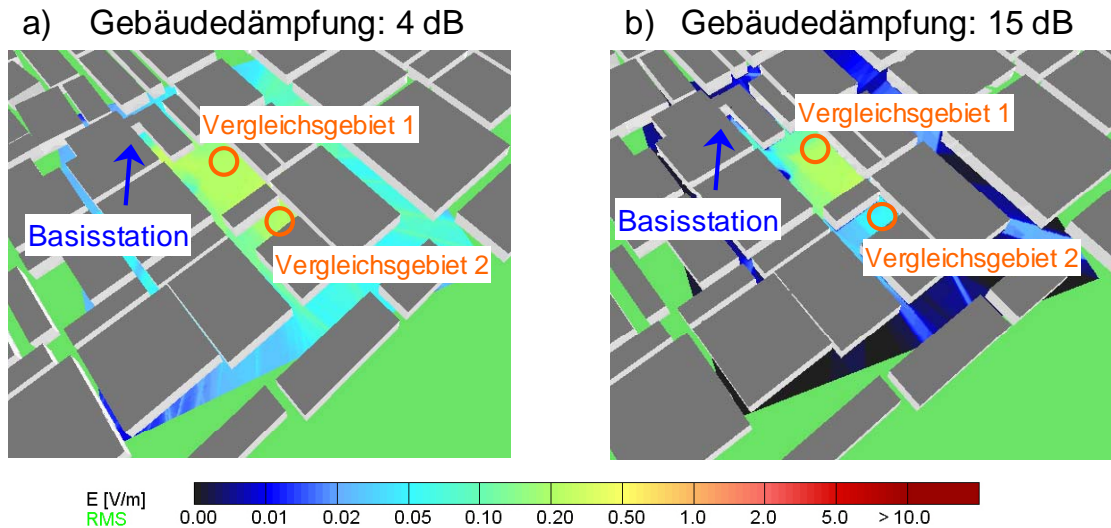


Bild III.6.28: Simulationsergebnis von EFC-400 mit zwei unterschiedlichen Gebäudedämpfungen für das Szenario 4

Zunächst liegt das Vergleichsgebiet 2 im Fokus der folgenden Betrachtungen, um eine Größenordnung für die Gebäudedämpfung ermitteln zu können. Ein Vergleich der zwei Berechnungen mit den messtechnisch bestimmten Immissionswerten im Vergleichsgebiet 2 (nLOS-Situation) ist in Bild III.6.29 zu sehen.

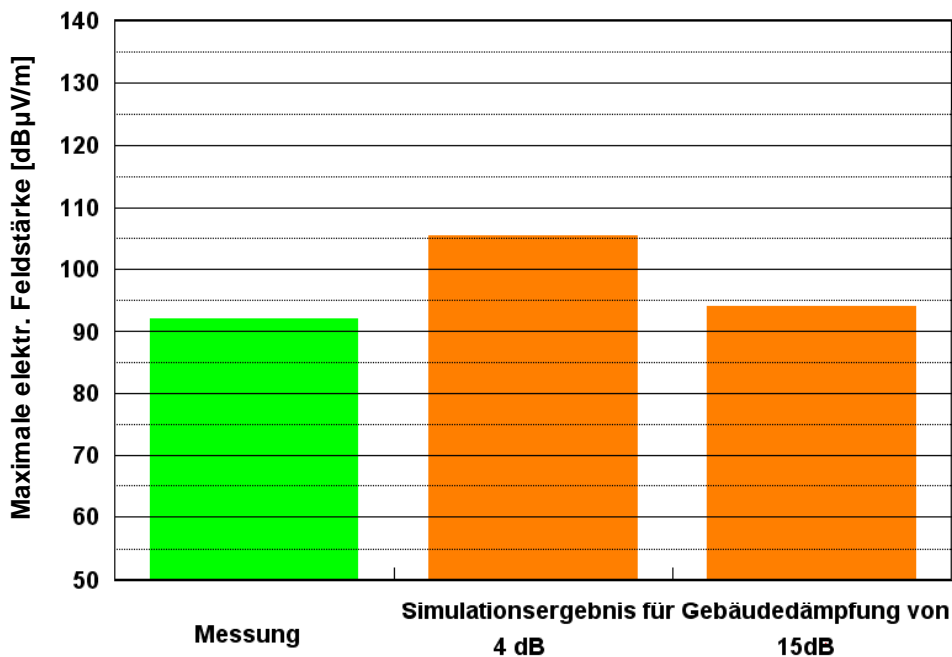


Bild III.6.29: Unterschied der Simulationsergebnisse in Abhängigkeit der angenommenen Gebäudedämpfung

Die Achsenbeschriftung „Maximale elektrische Feldstärke“ in obigem Bild ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass sowohl bei der Messung durch die Schwenkmethode als auch bei der Berechnung nicht die Feldstärke an einem einzelnen Punkt, sondern die maximale elektrische Feldstärke innerhalb der Vergleichsgebiete gesucht wurde.

Aus obigem Bild wird schnell deutlich, dass eine Gebäudedämpfung von 4 dB wie schon bei dem Beispiel aus Abschnitt III.6.3 zu gering ist. Die Annahme einer Gebäudedämpfung von 15 dB zeigt unter der Berücksichtigung einer Messunsicherheit von ungefähr 3 dB eine gute Prognose des gemessenen Wertes. Die Transmission durch die Gebäude hindurch scheint demnach im städtischen Bereich eher eine untergeordnete Rolle zu spielen. Um dieses Erkenntnis noch weiter untermauern zu können, wird in der folgenden Simulation mit Wireless Insite keine Gebäudetranmission berücksichtigt. Die Resultate sind in folgendem Bild als Ausbreitungswege zu sehen.

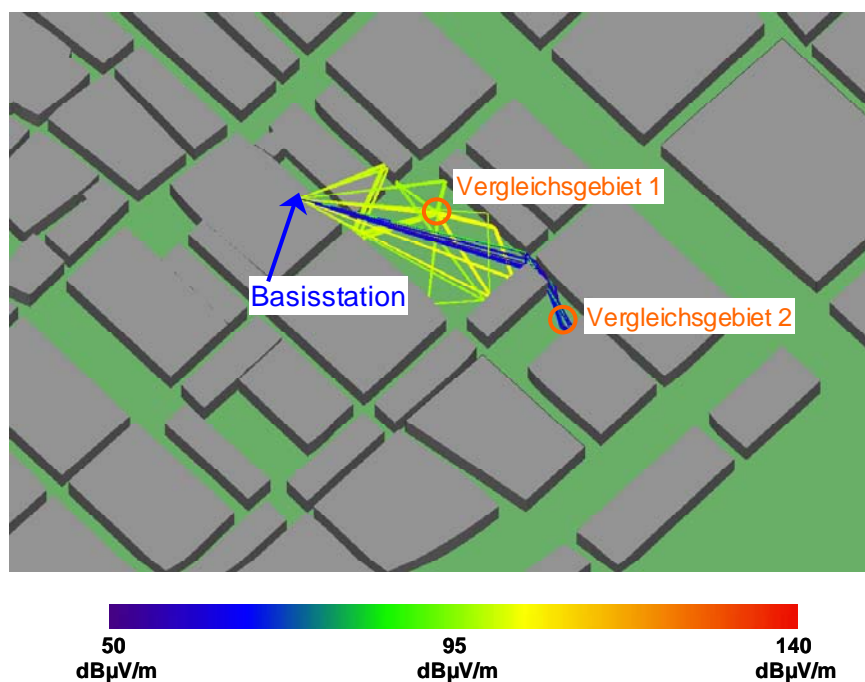


Bild III.6.30: Ausbreitungswege und Simulationsergebnis mit Wireless Insite für das Szenario 4

Die Ausbreitungswege für das Vergleichsgebiet 2 zeigen deutlich, dass die Transmission nicht berücksichtigt wurde, da nur Pfade (in blau) durch Reflexionen, Streuung und Beugung vorhanden sind. In wie weit die Vernachlässigung gerechtfertigt ist, zeigt der Vergleich zwischen Berechnung und Messung weiter unten (siehe Bild III.6.32).

Das folgende Bild zeigt das Simulationsergebnis von Winprop, bei dem generell die Gebäudedämpfung in der Berechnung keine Berücksichtigung findet.



Bild III.6.31: Simulationsergebnis von Winprop für Szenario 4

In Bild III.6.32 sind nach dem bekannten Schema die berechneten Feldstärkewerte in den zwei Vergleichsgebieten zunächst den messtechnisch ermittelten Immissionen gegenübergestellt. Zu beachten ist hierbei, dass die maximale elektrische Feldstärke vor dem Hintergrund gesehen werden muss, dass sowohl bei der Messung durch die Schwenkmethode als auch bei der Berechnung nicht die Feldstärke an einem einzelnen Punkt, sondern die maximale elektrische Feldstärke innerhalb der Vergleichsgebiete gesucht wurde. Anschließend sind die jeweiligen Abweichungen dargestellt.

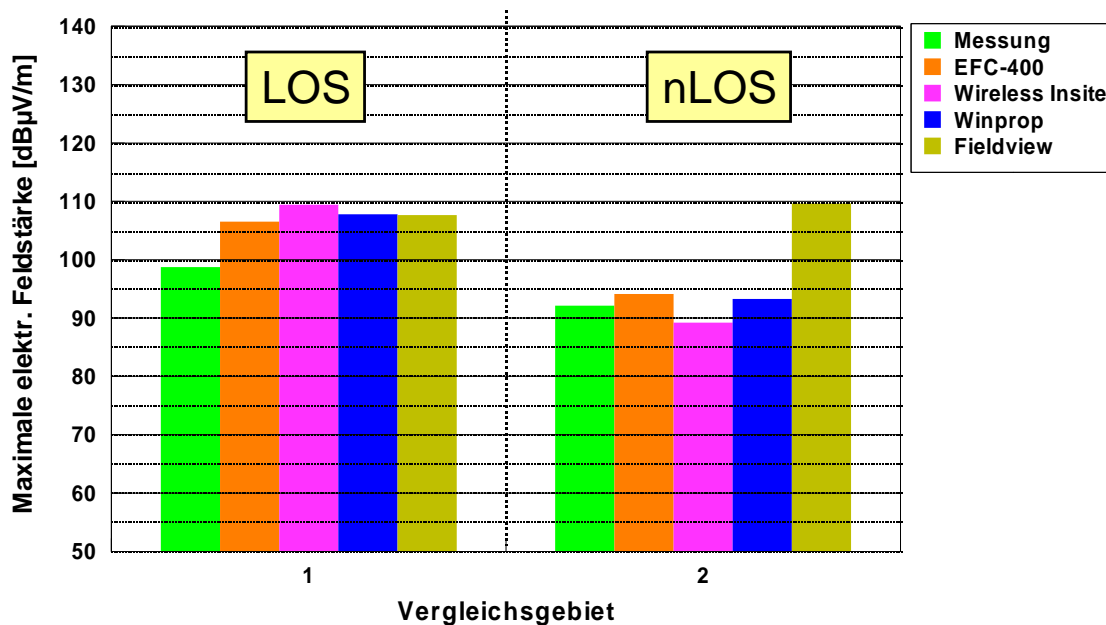


Bild III.6.32: Simulationsergebnisse im Vergleich zum Messergebnis für die verschiedenen Vergleichsgebiete für das Szenario 4

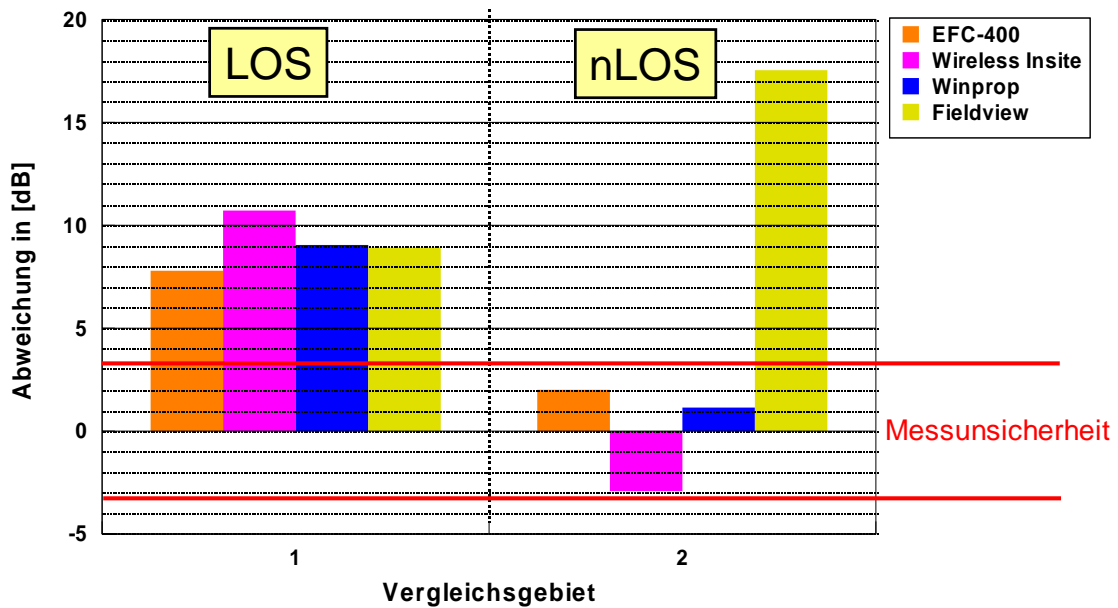


Bild III.6.33: Abweichung zwischen Berechnung und Messung in den zwei Vergleichsgebieten für das Szenario 4

Aus den vorangegangenen Bildern lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen: Für die Situation, in der *keine direkte Sichtverbindung* zur Basisstation vorliegt, spielt die Gebäude-Transmission eine untergeordnete Rolle und kann bei der Berechnung vernachlässigt werden. Dies wird durch die Simulationsergebnisse von Wireless Insite und Winprop unterstrichen, die vor dem Hintergrund der Messunsicherheit den gemessenen Feldstärkewert gut prognostizieren. Darüber hinaus scheint eine Transmissionsdämpfung bei der Berechnung mit EFC-400 in der Größenordnung von 15 dB geeignet zu sein, um die reale Immissionsverteilung gut wiederzugeben. Die Methode „Freiraum + 3 dB“ überschätzt dagegen gerade in nLOS-Situationen die tatsächliche Immission zum Teil sehr stark.

Im Vergleichsgebiet 1 mit direkter Sicht zur Antenne fällt auf, dass alle Programme die gemessene Immission überschätzen. Dies könnte möglicherweise durch den real vorhandenen Baumbewuchs hervorgerufen werden (vgl. Bild III.2.24). Die Bäume befanden sich zwar nicht in dem direkten Ausbreitungspfad, aber auf anderen Empfangswegen. In den Berechnungen wurde der Baumbewuchs nicht berücksichtigt, da es zum einen in den Programmen keine geeignete Möglichkeit gibt und zum anderen durch derartige Simulationen eine jahreszeitlich unabhängige Immissionsprognose erstellt wird, die vor dem Hintergrund einer Überprüfung der Grenzwerte möglichst einen maximalen Wert liefern sollte. Der Einfluss der Dämpfung durch den Baumbewuchs kann hier mit 6 – 10 dB angegeben werden, was sich auch mit den Resultaten aus [BOR 04] deckt.

Wie schon aus den vorherigen Konfigurationen bekannt zeigt die folgende Tabelle die Simulationszeiten für die einzelnen Programme.

	EFC-400	Wireless Insite	Winprop
Zeitdauer in [h]	7	11	1 + 0,1

Tabelle III.6.12: Zeitdauer für die Simulationen für das Szenario 4

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt angemerkt, ist bei den Simulationszeiten zu beachten, dass bei Wireless Insite die Immissionsverteilung nicht flächendeckend berechnet wurde, sondern nur an den jeweils 300 Punkten in den Vergleichsgebieten.

### III.6.7 Konfiguration 5: Stadtgebiet

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit der Konfiguration „Bestimmung der Immissionsverteilung einer Basisstation innerhalb eines Stadtgebietes mit einer Fläche von ca. 1 km<sup>2</sup>“. Sie basiert auf dem bereits im vorherigen Abschnitt behandelten Szenario (vgl. auch Abschnitt III.2.5.3). Eine Aufsicht mit den fünf Vergleichsgebieten und die Mobilfunksendeanlage in der Seitenansicht sind in folgendem Bild dargestellt.

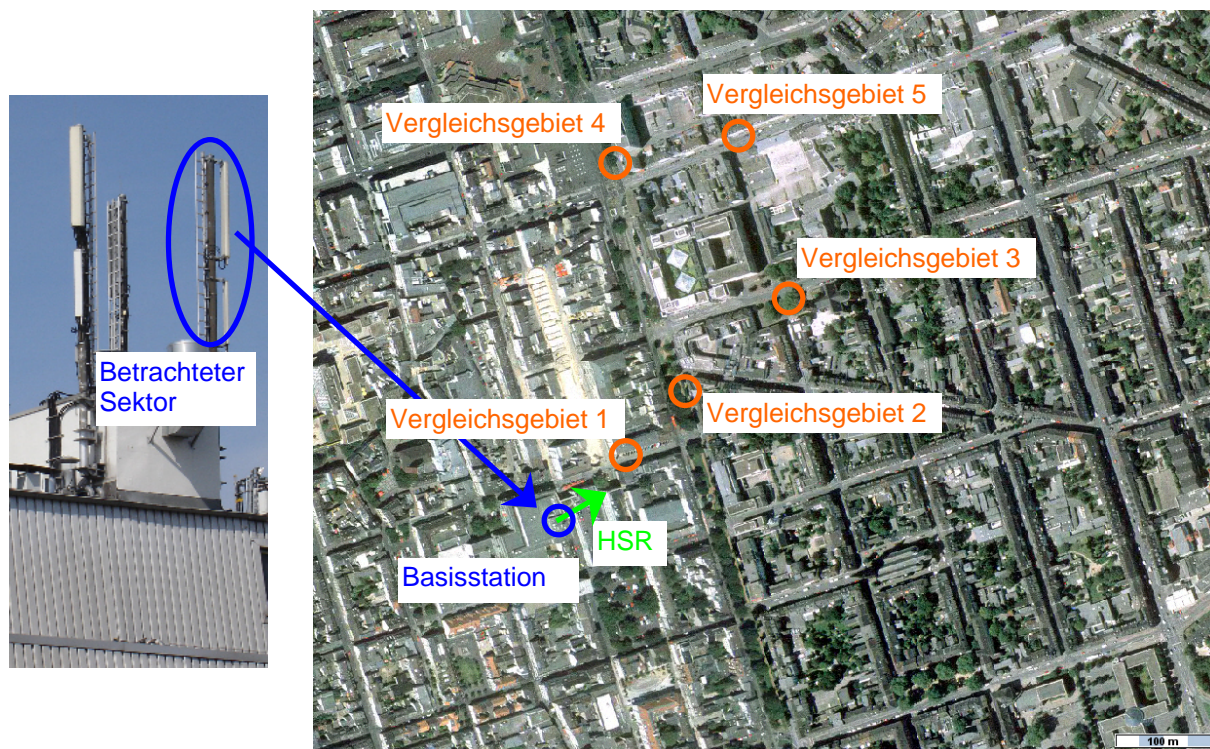


Bild III.6.34: Übersicht über das Szenario 5 „Stadtgebiet“

Im Gegensatz zu den Messungen aus Abschnitt III.2.5.3 wird, wie schon bekannt, bei den Berechnungen nur ein Sektor und ein Betreiber der Sendeanlage betrachtet. In obigem Bild ist daher noch die entsprechende Hauptstrahlrichtung dieses Sektors mit HSR eingezeichnet, dessen CPICH-Kanal den anschließenden Berechnungen zu Grunde liegt.



Die anschließende Tabelle gibt einen Überblick über die Sichtverhältnisse der Vergleichsgebiete zu den jeweiligen Messpunkten und die entsprechenden Abstände. Daran anschließend sind die Simulationsparameter dargestellt.

Szenario	(5) Bestimmung der Immissionsverteilung einer Basisstation innerhalb eines Stadtgebietes mit einer Fläche von ca. 1 km <sup>2</sup>	
	Sichtverhältnis zur Basisstation	Laterale Entfernung zur Basisstation in [m]
Vergleichsgebiet 1	LOS	101
Vergleichsgebiet 2	NLOS	201
Vergleichsgebiet 3	NLOS	361
Vergleichsgebiet 4	NLOS	396
Vergleichsgebiet 5	NLOS	445

Tabelle III.6.13: Überblick über die Sichtverhältnisse und Abstände für das Szenario 5

Ort:	Hochstraße 57 47798 Krefeld				
Frequenz in [MHz]	HSR in [°]	Höhe in [m]	Downtilt elektrisch in [°] (beantragt)	Antenne und Länge in [m]	CPICH-Leistung am Antenneneingang in [dBm]
2132,6	60	24,7	0-8	K 742212 1,302	33

Tabelle III.6.14: Simulationsparameter für das Szenario 5

Die Gebäudedaten wurden wie schon im vorherigen Abschnitt dargestellt bearbeitet, bevor sie in die einzelnen Programme integriert wurden.

Im folgenden Bild sind die Simulationsergebnisse von EFC-400 dargestellt. Für die Gebäudedämpfung wurde analog zu den Ergebnissen der vorherigen Abschnitte ein Wert von 15 dB gewählt.

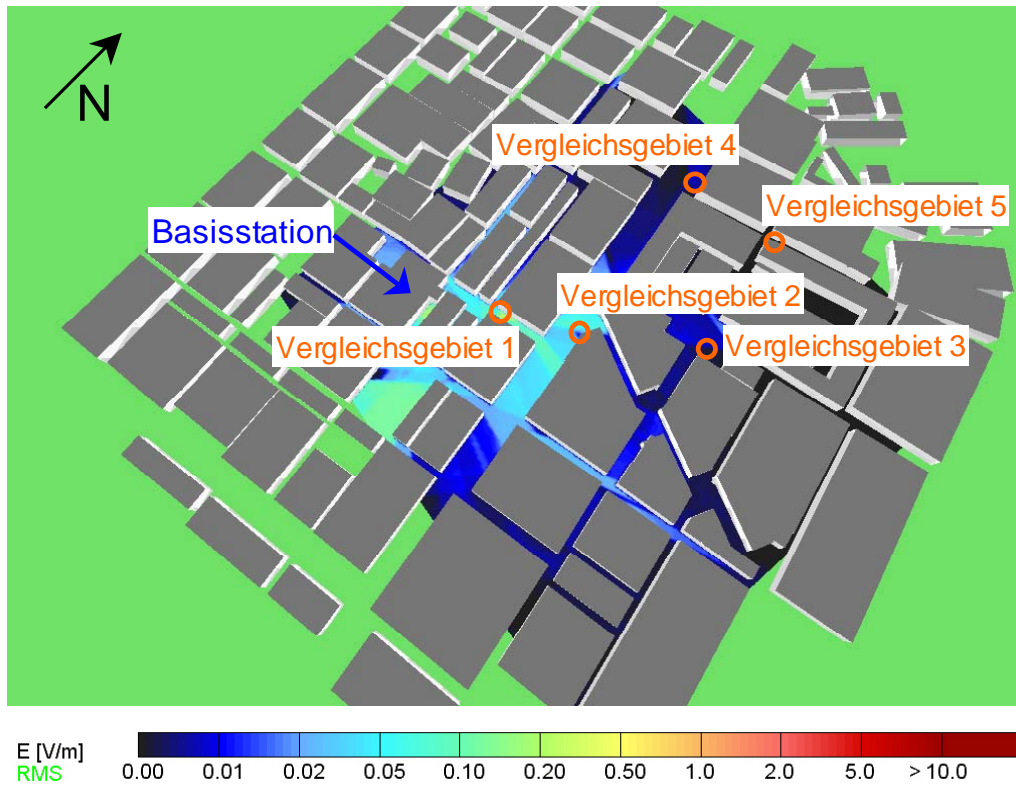


Bild III.6.35: Simulationsergebnis von EFC-400 für das Szenario 5

In Bild III.6.36 sind die dreidimensionale Modellierungsumgebung und exemplarisch für das Vergleichsgebiet 4 die Ausbreitungspfade von Wireless Insite zu sehen. Die Gebäudetransmission wurde auch hier nicht berücksichtigt.

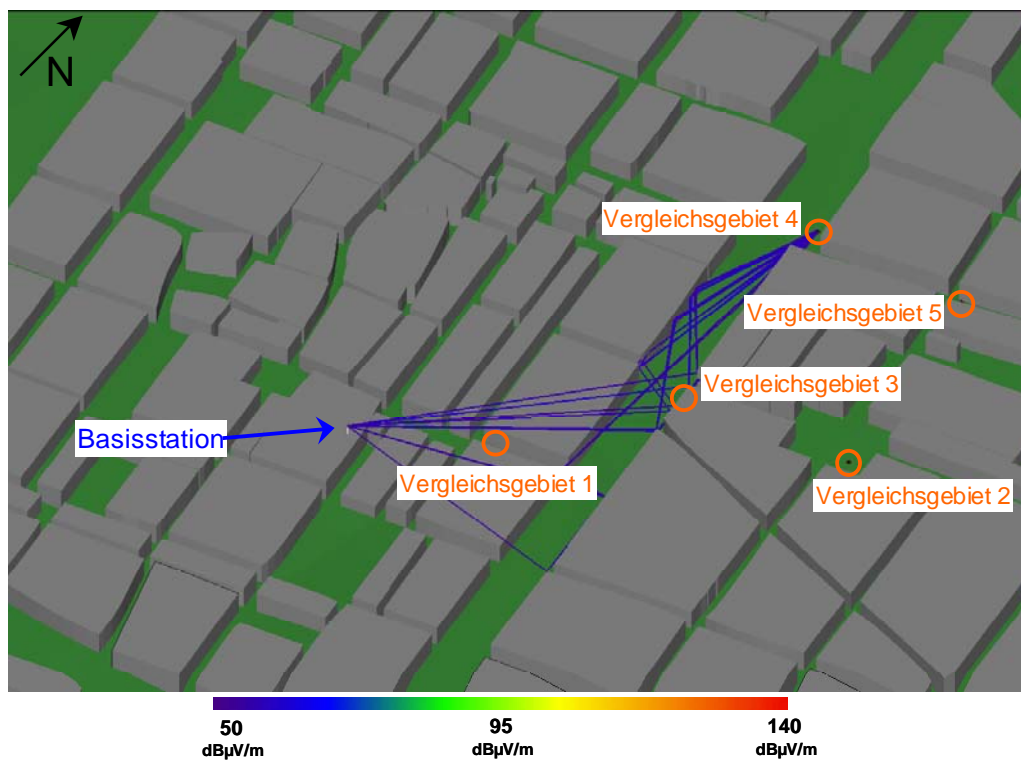


Bild III.6.36: Ausbreitungswege in Wireless Insite (exemplarisch für das Vergleichsgebiet 4) für das Szenario 5

Die folgenden zwei Bilder zeigen zunächst die dreidimensionale Modellierungsumgebung von Winprop und anschließend die berechnete Immissionsverteilung.

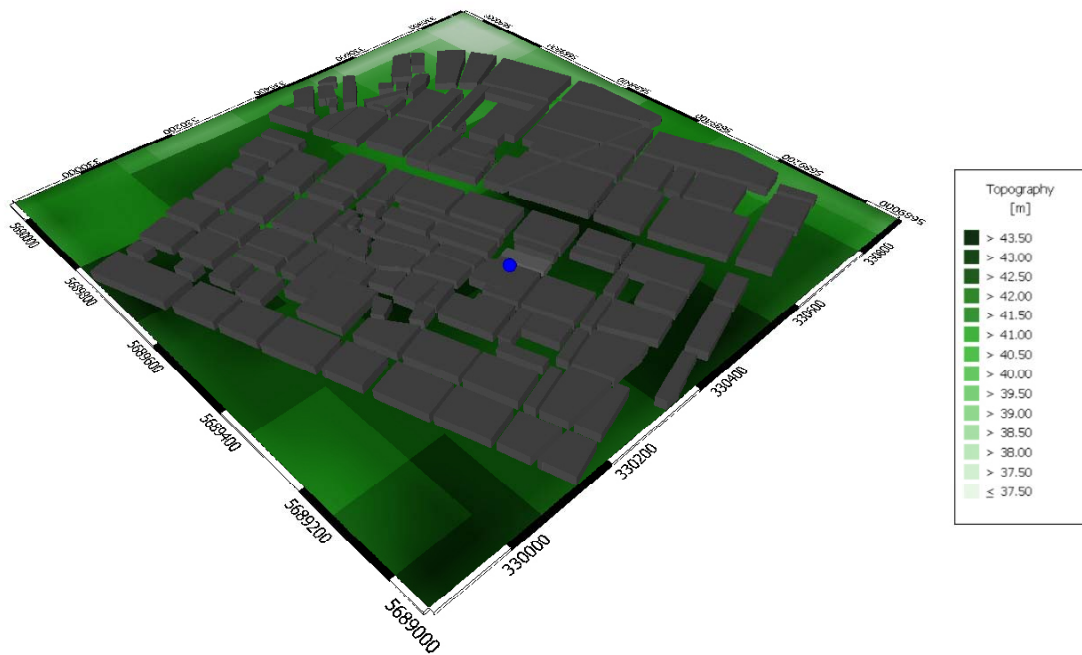


Bild III.6.37: Dreidimensionale Modellierungsumgebung von Winprop (der blaue Punkt zeigt den Standort der Basisstation) für das Szenario 5

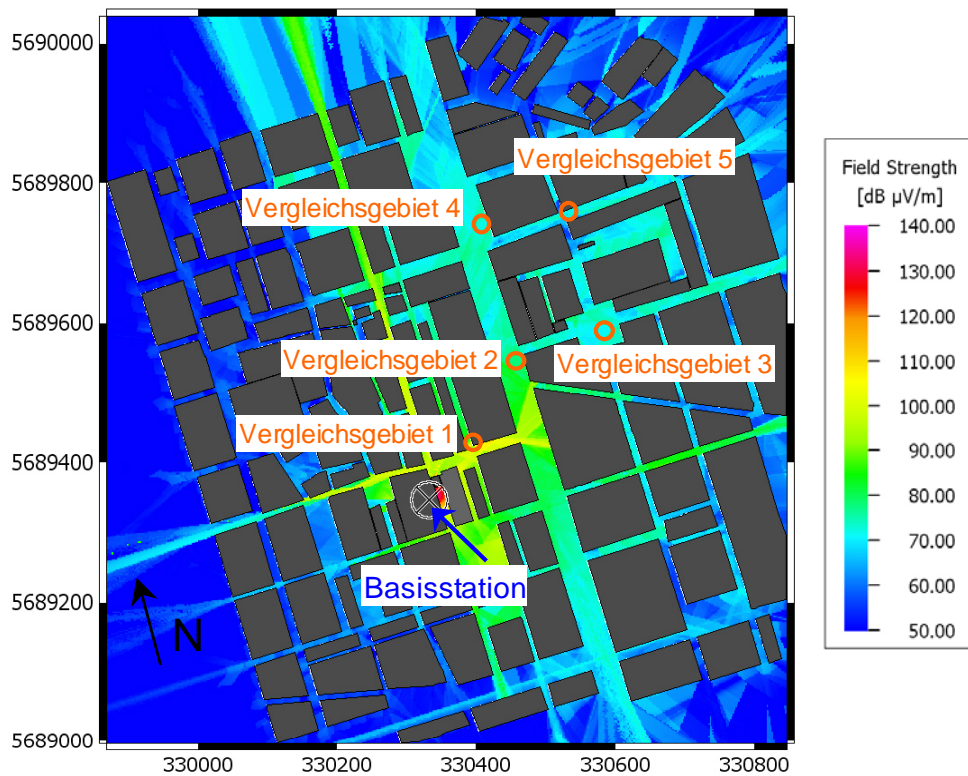


Bild III.6.38: Simulationsergebnis mit dem Softwarepaket Winprop für das Szenario 5

Der Vergleich der prognostizierten Feldstärkewerte innerhalb der fünf Vergleichsgebiete mit entsprechenden messtechnisch ermittelten Immissionen ist in Bild III.6.39 nach dem bekannten Muster zu sehen. Zu beachten ist hierbei, dass die Achsenbeschriftung „Maximale elektrische Feldstärke“ vor dem Hintergrund gesehen werden muss, dass sowohl bei der Messung durch die Schwenkmethode als auch bei der Berechnung nicht die Feldstärke an einem einzelnen Punkt, sondern die maximale elektrische Feldstärke innerhalb der Vergleichsgebiete gesucht wurde.

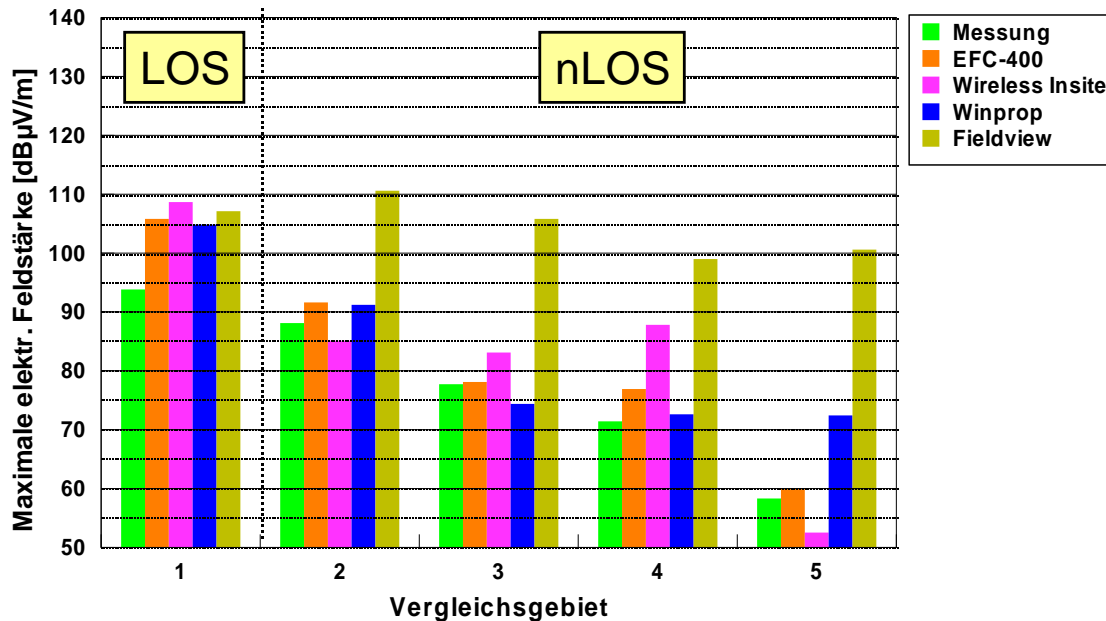


Bild III.6.39: Simulationsergebnisse im Vergleich zum Messergebnis für die verschiedenen Vergleichsgebiete für das Szenario 5

Im folgenden Bild sind die entsprechenden jeweiligen Abweichungen zwischen Berechnungswert und Messwert dargestellt.

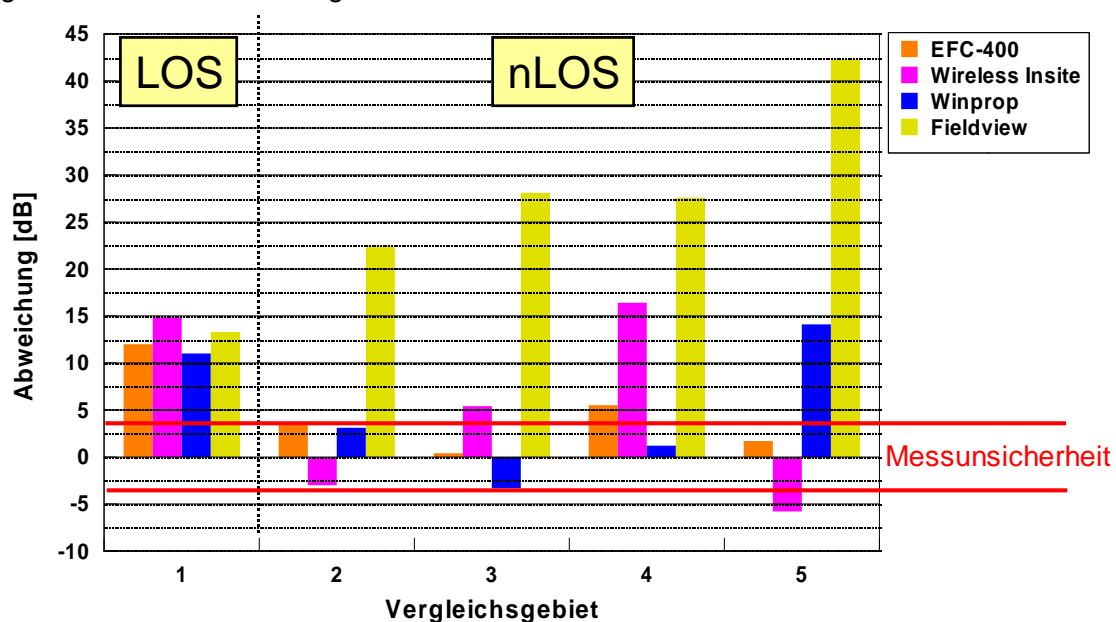


Bild III.6.40: Abweichung zwischen Berechnung und Messung für das Szenario 5

Zunächst fällt in Bild III.6.39 und Bild III.6.40 auf, dass im Vergleichsgebiet 1 bei direkter Sicht zur Sendeantenne die Softwarepakete die messtechnisch ermittelte Immission überschätzen. Dies kann an dem Baumbewuchs in der Sichtverbindung liegen, der bei der Berechnung wie im vorherigen Abschnitt bereits erwähnt nicht berücksichtigt wurde. Bezieht man Dämpfungswerte von 6 – 10 dB (vgl. [BOR 04]) für den Baum in die obigen Ergebnisse mit ein, spiegeln auch die obigen Berechnungen die reale Immission vor dem Hintergrund der Messunsicherheit gut wider.

Die Abweichung in den NLOS-Vergleichsgebieten zeigt, dass die Methode „Freiraum + 3 dB“ wie erwartet die Immission stark überschätzt. Die Abweichungen der Simulationsergebnisse von Winprop und Wireless Insite zeigen erneut, dass, wie bereits im Abschnitt III.6.7 gezeigt, die Gebäudetransmission eine eher untergeordnete Rolle spielt. Darüber hinaus erweisen sich erneut Dämpfungswerte von 15 dB bei EFC-400 als gut geeignet, um die reale Immission widerzuspiegeln. Darüber hinaus sei an dieser Stelle hervorgehoben, dass die Simulationen teilweise auch noch in großer Entfernung bis ca. 450 m eine gute Immissionsprognose liefern.

Insgesamt geben die Programme die reale Immissionssituation vor dem Hintergrund der Messunsicherheit mehr oder weniger gut wider. Dennoch muss sowohl mit Über- als auch Unterschätzungen gerechnet werden. Diese müssen aber nicht unmittelbar programmbedingt sein, sondern können sich auch durch die Tatsache ergeben, dass ein einheitlicher Wert für die Gebäudehöhen angenommen wurde.

	<b>EFC-400</b>	<b>Wireless Insite</b>	<b>Winprop</b>
Zeitdauer in [h]	3	10	1 + 0,1

Tabelle III.6.15: Zeitdauer für die Simulationen für das Szenario 5

Bei den oben dargestellten Simulationszeiten ist zu beachten, dass bei Wireless Insite im Gegensatz zu den zwei anderen Programmen die Immissionsverteilung nicht flächendeckend berechnet wurde, sondern nur an den jeweils 300 Punkten in den Vergleichsgebieten.

### III.6.8 Konfiguration 6: Immissionsverteilung innerhalb eines Gebäudes

Die im folgenden Abschnitt betrachtete Konfiguration basiert auf dem Szenario „Messungen in einem Gebäude, auf dessen Dach UMTS-Antennen installiert sind“ (vgl. Abschnitt III.2.11). Eine schematische Aufsicht und Seitenansicht über das Szenario mit den Vergleichsgebieten sind in folgendem Bild dargestellt.

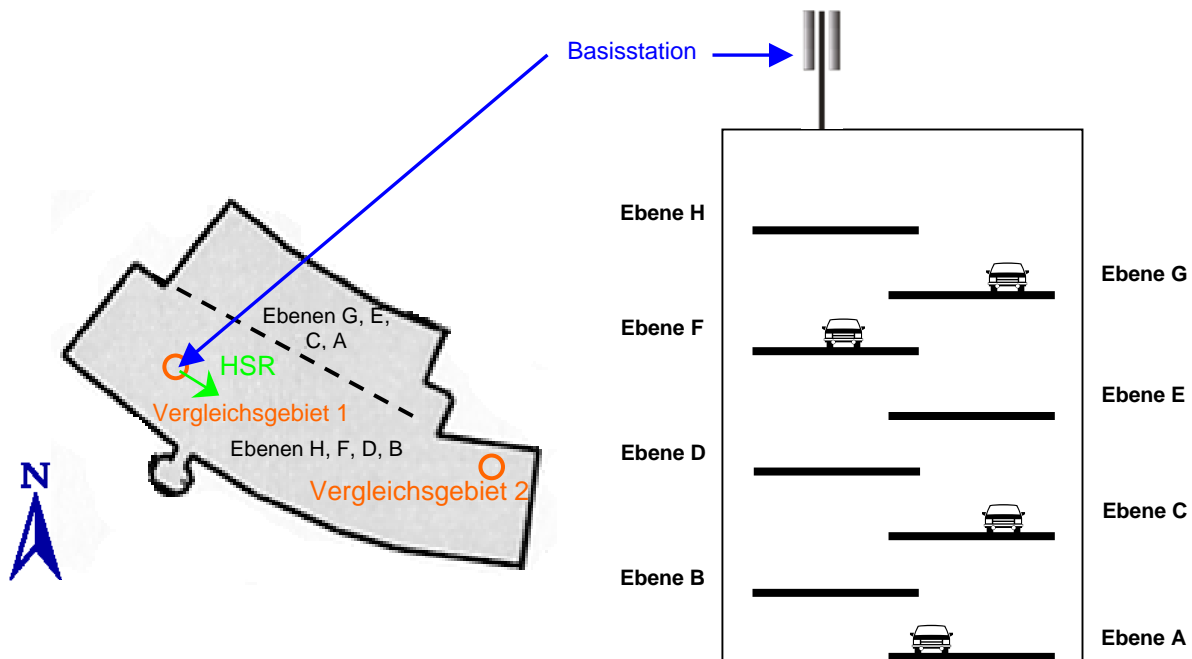


Bild III.6.41: Szenario 6 mit den dazugehörigen Vergleichsgebieten

Für den Vergleich zwischen Messung und Berechnung wird nur ein Sektor der Basisstation herangezogen, dessen Hauptstrahlrichtung in obigem Bild mit HSR gekennzeichnet ist.

Die anschließende Tabelle gibt einen Überblick über die Sichtverhältnisse der Vergleichsgebiete zu den jeweiligen Messpunkten und die entsprechenden Abstände. Daran anschließend sind die Simulationsparameter dargestellt.

Szenario	(6) Immissionsverteilung innerhalb eines Gebäudes	
	Sichtverhältnis zur Basisstation	Laterale Entfernung zur Basisstation in [m]
Vergleichsgebiet 1 (H)	NLOS	0
Vergleichsgebiet 2 (H)	NLOS	50
Vergleichsgebiet 1 (D)	NLOS	0
Vergleichsgebiet 2 (D)	NLOS	50

Tabelle III.6.16: Überblick über die Sichtverhältnisse und Abstände für das Szenario 6

Ort:	Oberer Markt 95326 Kulmbach				
Frequenz in [MHz]	HSR in [°]	Höhe in [m]	Downtilt elektrisch in [°] (beantragt)	Antenne und Länge in [m]	CPICH-Leistung am Antenneneingang in [dBm]
2112,8	120	17,1	0-8	K 742264 1,6	30,6

Tabelle III.6.17: Simulationsparameter für das Szenario 6

Im Gegensatz zu den vorangegangenen Simulationen wurde in dieser Berechnung der Realität entsprechend Beton als Material verwendet. Die Dämpfung kann laut [PAU 00] in dem hier betrachteten Frequenzbereich mit ungefähr 15 dB pro Wand angegeben werden.

Im folgenden Bild ist die dreidimensionale Modellierungsumgebung von EFC-400 mit der Lage der Basisstation und den hier betrachteten Vergleichsgebieten dargestellt.

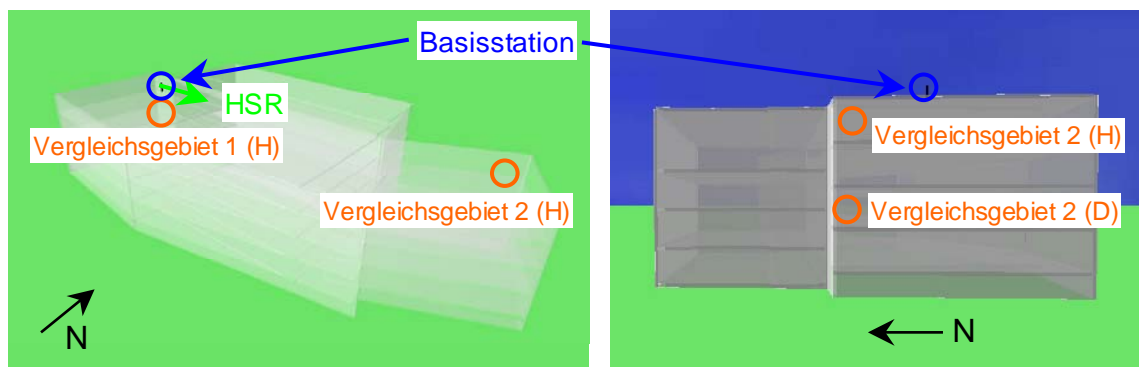


Bild III.6.42: Dreidimensionale Modellierungsumgebung von EFC-400 für das Szenario 6

Die zum obigen Bild zugehörigen Simulationsergebnisse von EFC-400 sind in den folgenden zwei Bildern zu sehen.

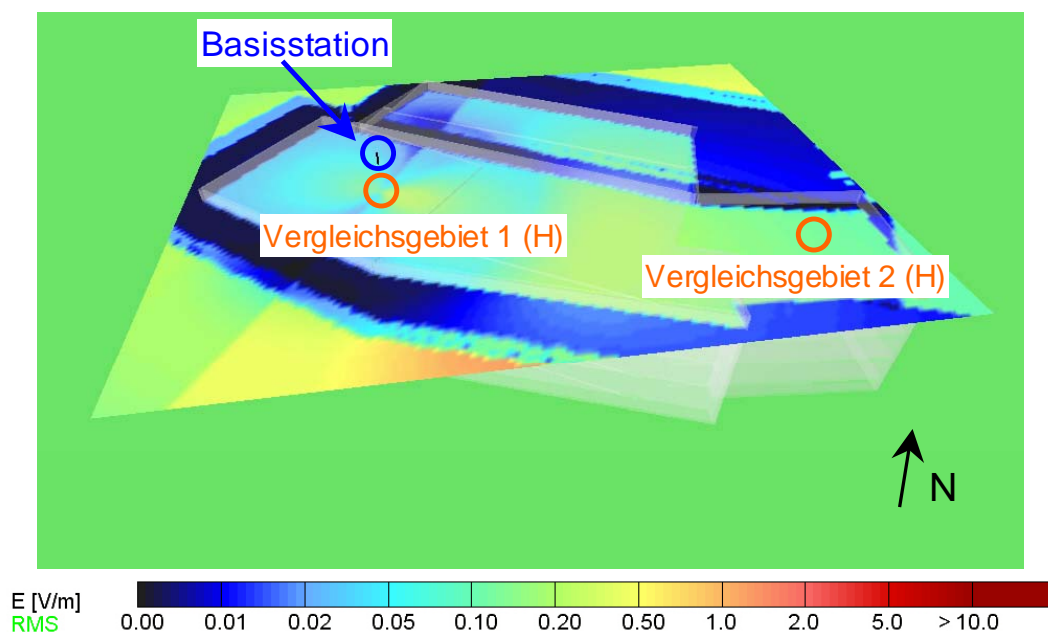


Bild III.6.43: Simulationsergebnis von EFC-400 für das Parkdeck H für Szenario 6

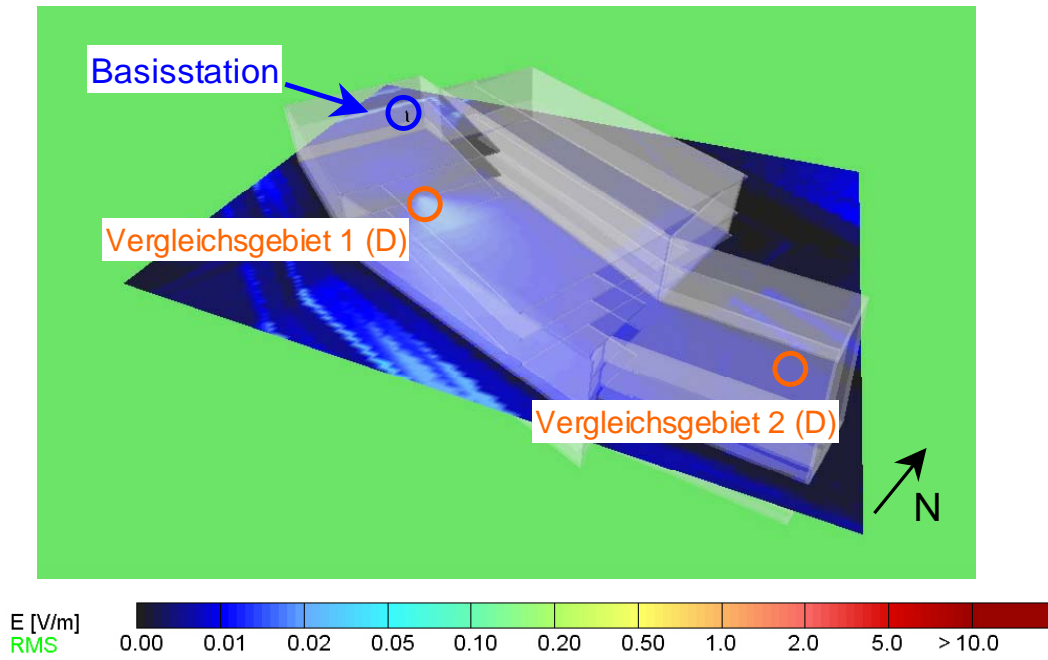


Bild III.6.44: Simulationsergebnis mit EFC-400 auf Ebene D für Szenario 6

Im folgenden Bild ist die dreidimensionale Modellierungsumgebung von Wireless Insite mit der Lage der Basisstation und den hier betrachteten Vergleichsgebieten zur besseren Übersichtlichkeit als Drahtgerüst dargestellt.

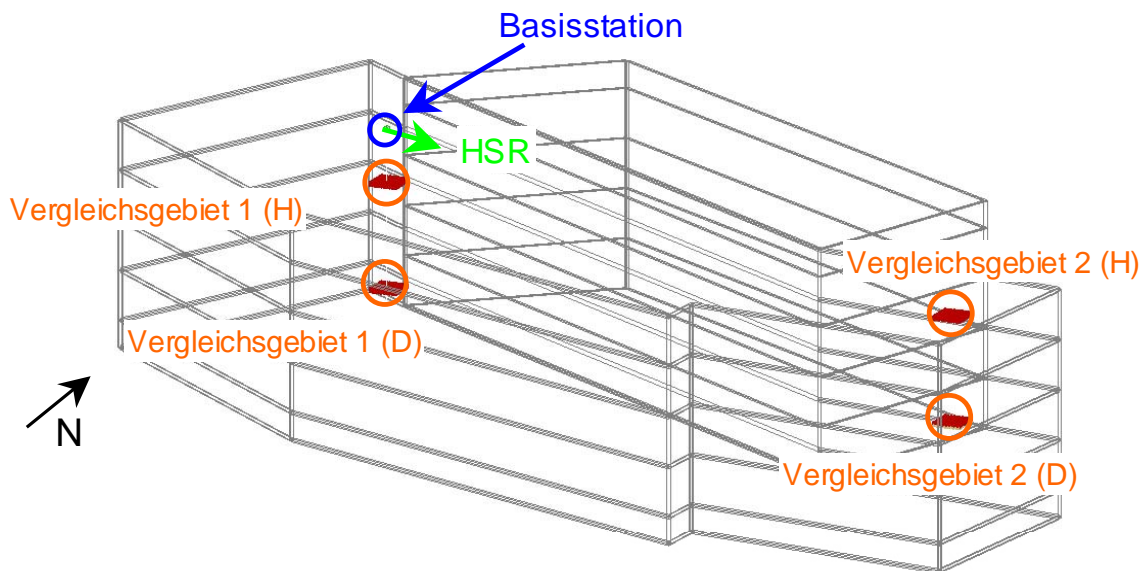


Bild III.6.45: Modellierungsumgebung bei Wireless Insite als Drahtgerüst für Szenario 6

Analog zu den vorherigen Darstellungsweisen zeigt Bild III.6.46 die Ausbreitungswege für das Vergleichsgebiet 2 auf dem Parkdeck H und Bild III.6.47 für beide Vergleichsgebiete auf Parkdeck D.



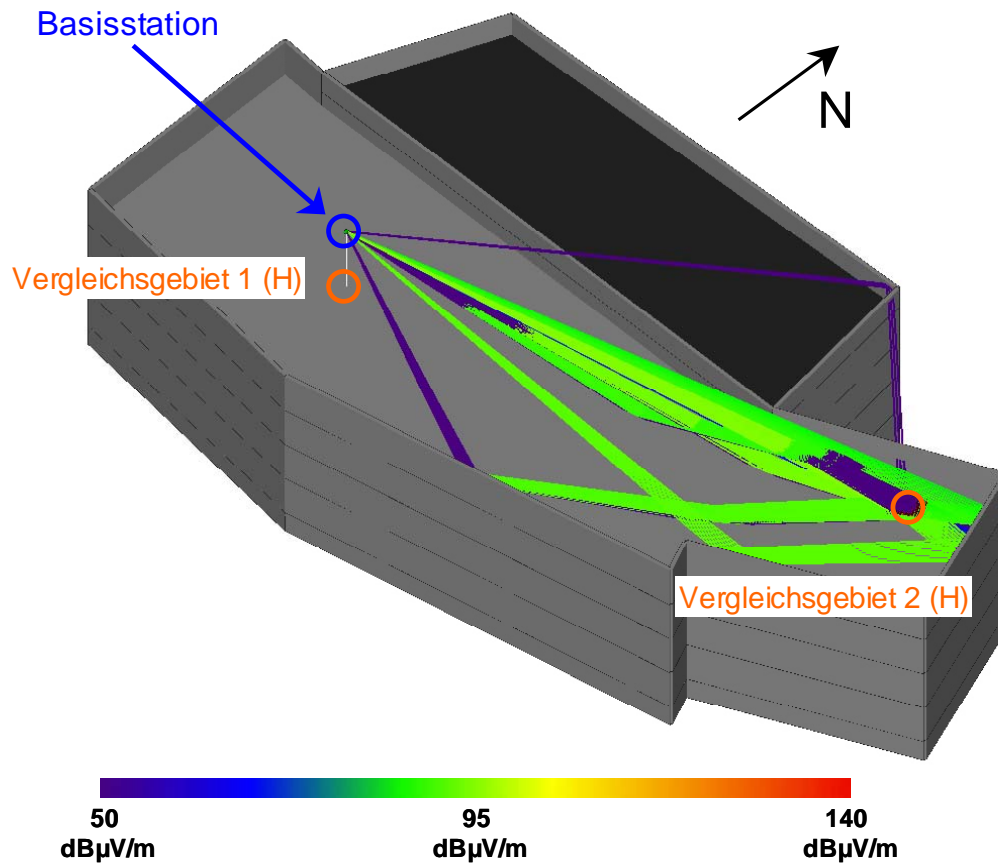


Bild III.6.46: Simulationsergebnis von Wireless Insite – Ausbreitungswege für Vergleichsgebiet 2 auf Parkebene H für Szenario 6

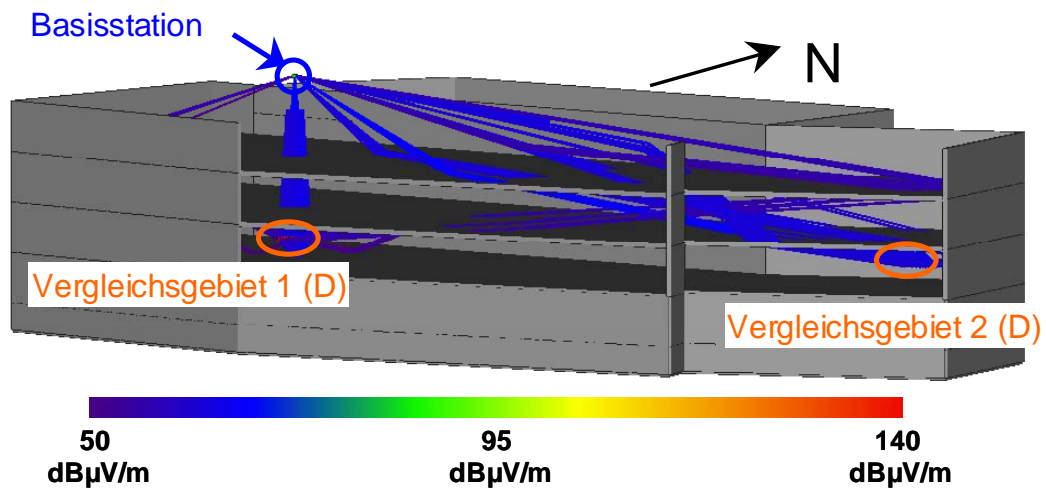


Bild III.6.47: Simulationsergebnis von Wireless Insite – Ausbreitungswege für Vergleichsgebiet 2 auf Parkebene D für Szenario 6

In Bild III.6.48 ist die dreidimensionale Modellierungsumgebung von Winprop mit der Lage der Basisstation und den hier betrachteten Vergleichsgebieten als Drahtgerüst dargestellt.

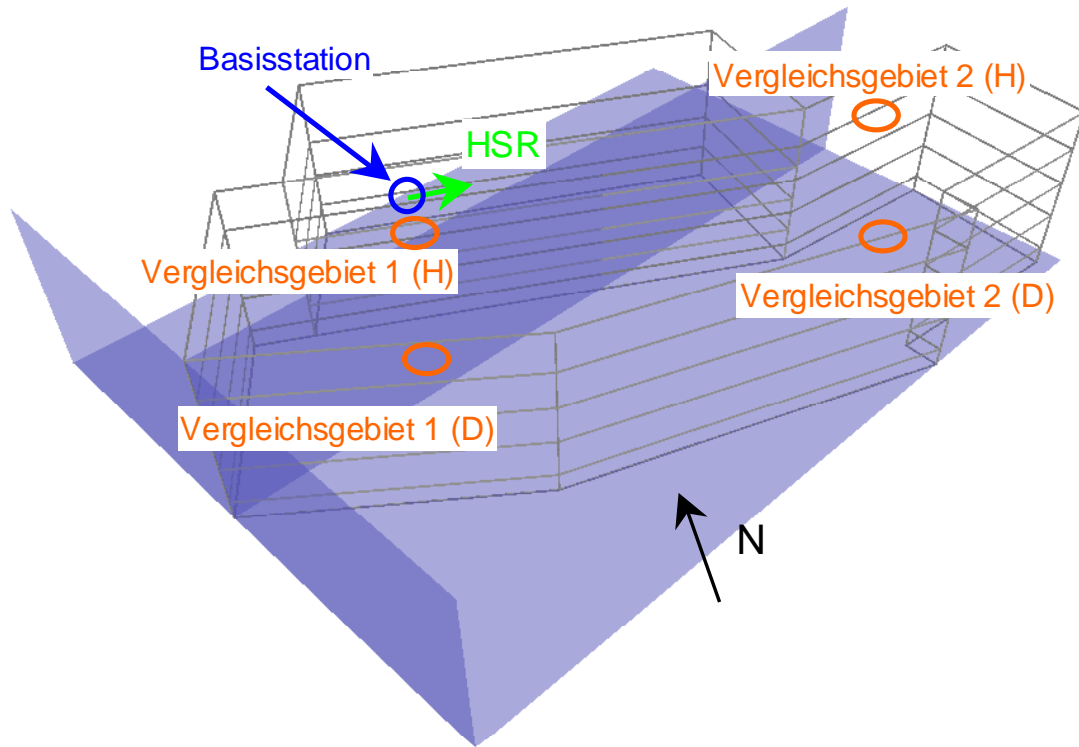


Bild III.6.48: Modellierungsumgebung bei Winprop als Drahtgerüst für Szenario 6

Das folgende Bild III.6.49 zeigt die Berechnungsergebnisse von Winprop für das Parkdeck H und das Bild III.6.50 entsprechend für das Parkdeck D.

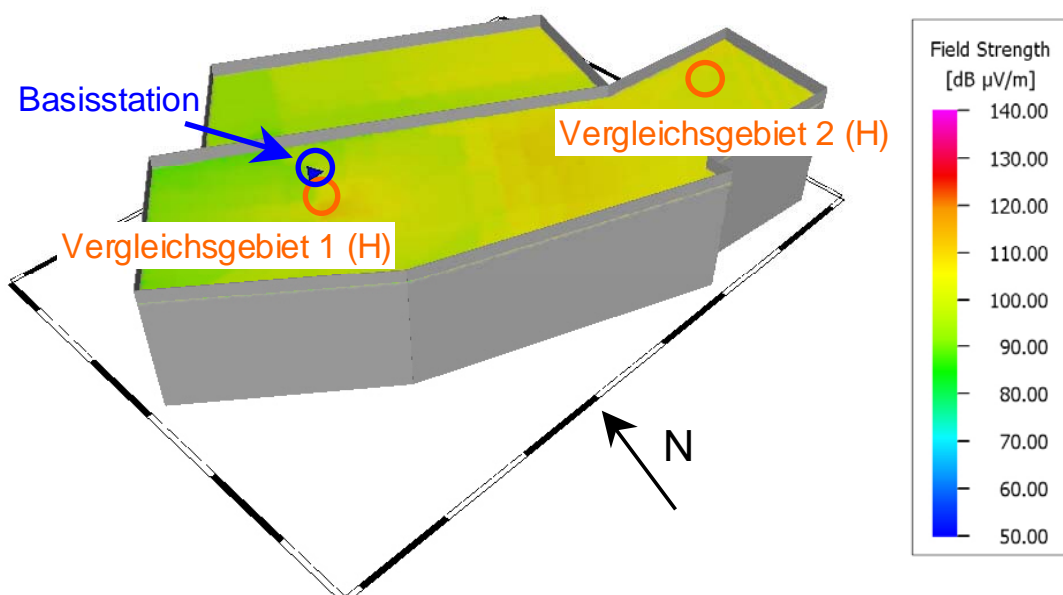


Bild III.6.49: Simulationsergebnis von Winprop für das Parkdeck H für Szenario 6

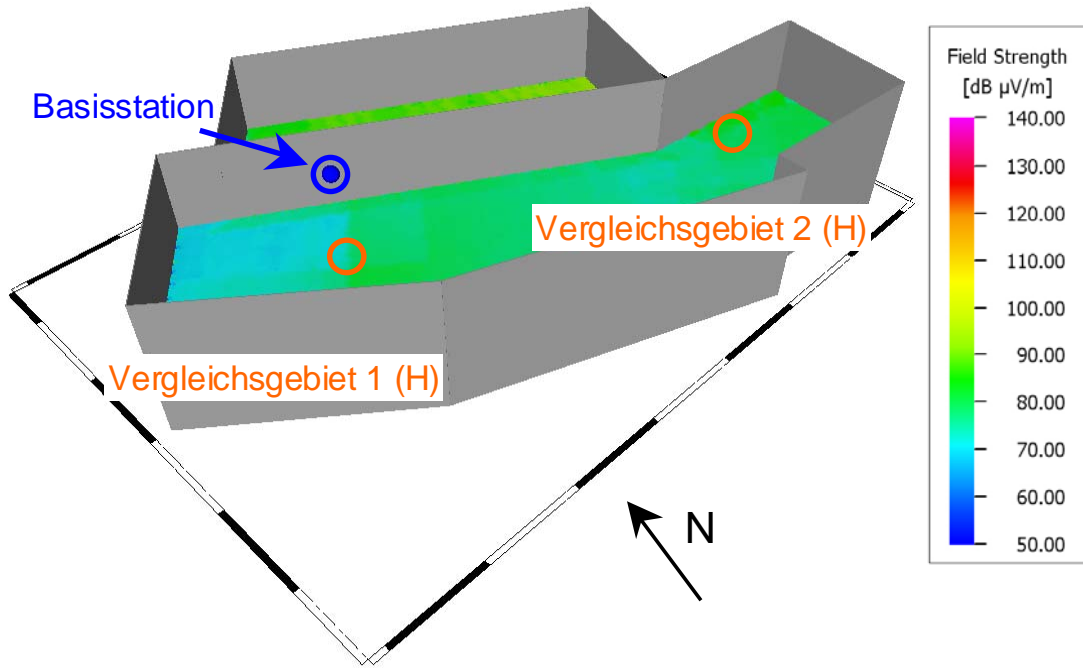


Bild III.6.50: Simulationsergebnis von Winprop für das Parkdeck D für Szenario 6

Die Feldstärkewerte innerhalb der vier Vergleichsgebiete mit entsprechenden messtechnisch ermittelten Immissionen werden im Folgenden verglichen. Zusätzlich zu den drei bereits beschriebenen Berechnungen wurde noch eine Berechnung durchgeführt, die auf Freiraumausbreitung ohne Berücksichtigung von Gebäuden inklusive eines Zuschlags von 3 dB beruht.

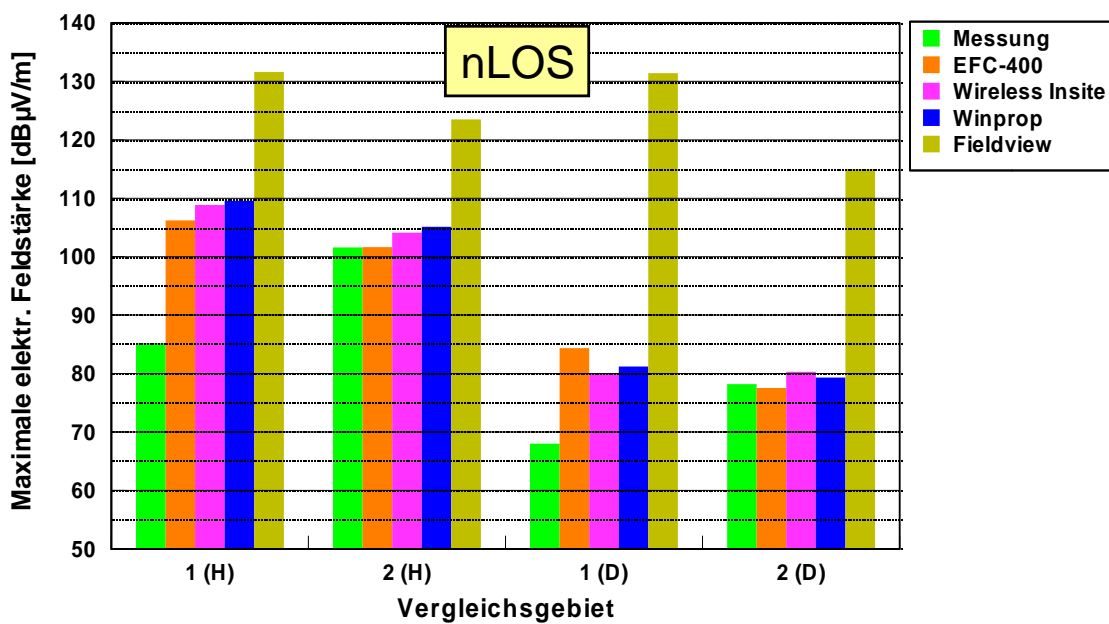


Bild III.6.51: Simulationsergebnisse im Vergleich zum Messergebnis für die verschiedenen Vergleichsgebiete für das Szenario 6

In obigen Bild ist zu beachten, dass die Achsenbeschriftung „Maximale elektrische Feldstärke“ vor dem Hintergrund gesehen werden muss, dass sowohl bei der Messung durch die Schwenkmethode als auch bei der Berechnung nicht die Feldstärke an einem einzelnen Punkt, sondern die maximale elektrische Feldstärke innerhalb der Vergleichsgebiete gesucht wurde.

Wie bereits aus den vorherigen Simulationen, bei denen keine direkte Sichtverbindung zur Sendeanlage bestand, bekannt, überschätzt die Methode „Freiraum + 3 dB“ die messtechnisch ermittelte Immission in derartigen Konfigurationen deutlich und wird daher im folgenden Bild, das die Abweichung zwischen Berechnung und Messung darstellt, nicht weiter berücksichtigt.

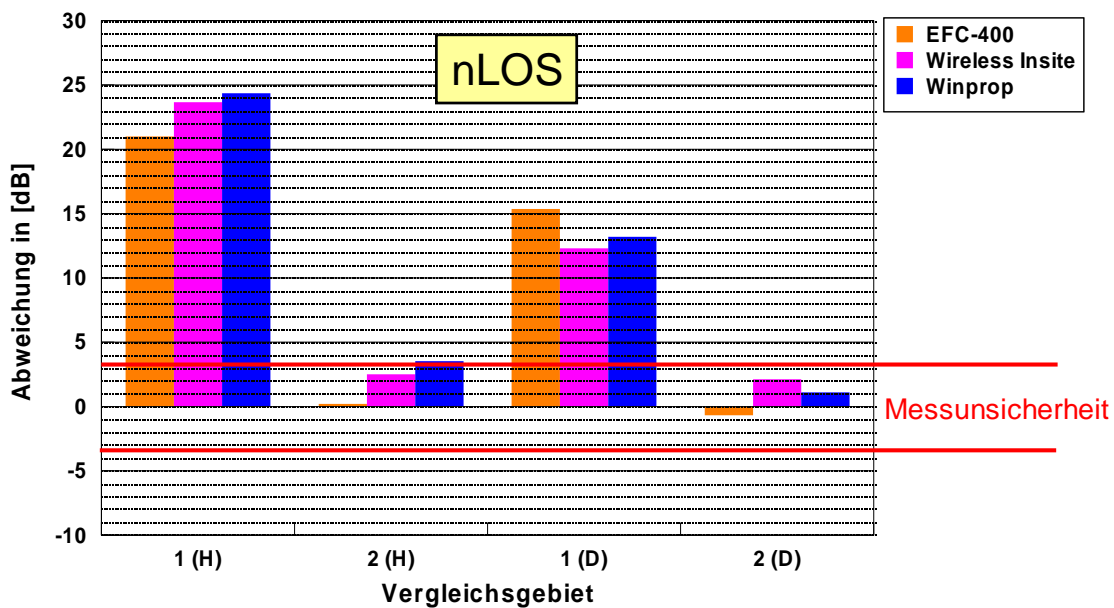


Bild III.6.52: Abweichung zwischen Berechnung und Messung für das Szenario 6

In Bild III.6.52 fällt direkt auf, dass in den beiden Vergleichsgebieten, die sich direkt unterhalb der Sendeanlage befinden, die simulationstechnisch bestimmten Feldstärkewerte die Messwerte deutlich überschätzen. Dies liegt vermutlich am synthetisierten Antennendiagramm: Da in der hier verwendeten Antenne kein ausgeprägter Nebenzipfel direkt nach unten vorliegt, wird durch die Auffüllung des Antennendiagramms von ungefähr -10 dB auf + 9,4 dB die Immission an diesen beiden Punkten deutlich überschätzt. An den verbleibenden zwei Vergleichsgebieten kann unter Berücksichtigung der Messunsicherheit von einer guten Prognose gesprochen werden.

Die anschließende Tabelle zeigt die einzelnen Berechnungszeiten für das hier betrachtete Szenario. Die Berechnungszeit bei Winprop setzt sich wieder aus dem Preprocessing und der eigentlichen Immissionsberechnung zusammen.

	EFC-400	Wireless Insite	Winprop
Zeitdauer in [h]	1	1,5	0,5 + 0,1

Tabelle III.6.17: Zeitdauer für die Simulationen für das Szenario 6

### III.6.9 Fazit

Im vorliegenden Kapitel wurde ein Vergleich von berechneten Feldstärkewerten und entsprechend messtechnisch bestimmten Immissionen an verschiedenen UMTS-Basisstationskonfigurationen durchgeführt. Hierbei wurden verschiedene UMTS-Zelltypen, Indoor- und Outdoor-Szenarien, differierende Sichtbedingungen und unterschiedliche Abstände zur Basisstation berücksichtigt.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass in Situationen mit direkter Sicht zur Sendeantenne (LOS) alle Programme die Immission an der Mehrzahl der Vergleichsgebiete vor dem Hintergrund der Messunsicherheit gut prognostizieren. Dennoch sollten bei derartigen Konfigurationen aber folgende Aspekte berücksichtigt werden: Befinden sich z.B. Bäume in der Sichtverbindung, die in den Simulationen außer Acht gelassen wurden, überschätzen die Programme die gemessene Immission. Die Größenordnung kann hierbei im Bereich von 6-10 dB liegen, was auch gut mit den Ergebnissen aus [BOR 04] korrespondiert. Darüber hinaus sollten auch „schwebende“ Objekte, wie z.B. Fußgängerüberwege, in der Simulation berücksichtigt werden, da bei deren Vernachlässigung unter Umständen mit Unterschätzungen gerechnet werden muss. Ein Vergleich der Messresultate mit den Ergebnissen der Berechnungsmethode „Freiraum + 3 dB“ hat gezeigt, dass auch diese für Konfigurationen mit direkter Sicht zur Anlage als geeignet angesehen werden kann.

Im Gegensatz dazu ist die Methode „Freiraum + 3 dB“ für Situationen, in denen keine direkte Sicht zur Sendeanlage vorliegt, nicht geeignet, die realen Immissionen zu prognostizieren. In den betrachteten Szenarien traten hierbei Überschätzungen mit einer Schwankungsbreite von 10-60 dB auf. Die Einbeziehung von Gebäuden in die Simulation ist dementsprechend zwingend erforderlich. Bei EFC-400 haben sich in derartigen Szenarien Gebäudedämpfungen von etwa 15 dB als geeignet erwiesen, die reale Immissionssituation widerspiegeln zu können. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass die Gebäudetransmissionen für die Immissionsverteilung in Outdoor-Szenarien eher eine untergeordnete Rolle spielen und somit in einer Simulation nicht zwingend erforderlich berücksichtigt werden müssen. Der Vergleich von Berechnung und Messung bei NLOS-Situationen hat darüber hinaus gezeigt, dass die Simulationen teilweise auch noch in großer Entfernung bis zum Rand der Versorgungszelle eine gute Immissionsprognose liefern.

Da es aufgrund der Anzahl von Gebäuden im gesamten Versorgungsgebiet einer UMTS-Zelle viel zu aufwändig wäre, diese alle durch einzelne Wände inklusive Innenwände zu modellieren und somit auch Immissionswerte innerhalb von Gebäuden prognostizieren zu können, wurde untersucht, in wie weit unter Berücksichtigung eines geeignet gewählten Reduktionsfaktors die berechneten Immissionswerte außerhalb eines Gebäudes die Immission innerhalb eines Gebäudes widerspiegeln können. Hierbei hat sich gezeigt, dass derartige Abschlagswerte einer großen Schwankungsbreite unterliegen. Da diese darüber hinaus stark abhängig von der Sichtverbindung und den verwendeten Materialien ist, kann hierfür kein allgemeingültiger Faktor abgeleitet werden.

### III.6.10 Beurteilung der Softwarepakete

Der folgende Abschnitt fasst die Eignung der verwendeten Softwarepakete für die vorliegende Aufgabenstellung zusammen.

Zunächst einmal gestatten alle Softwarepakete die Einbeziehung *aller* für die Simulation benötigten Daten (Gelände, Gebäude, Anlagenparameter). Eventuell müssen hierzu aber Formatkonvertierungen vorgenommen werden, auf die detailliert in Abschnitt II.2.2 eingegangen wurde.

Mit der Software *EFC-400* können flächige Immissionsverteilungen in horizontalen bzw. vertikalen Ebenen berechnet werden. Es ist möglich, die synthetisierten Antennendiagramme in das Programm einzulesen. Hierbei ist zu beachten, dass die Montagehöhe der Unterkante der Sendeantenne entspricht und insofern noch die Länge der Antenne angegeben werden muss. Es sind sowohl Indoor- als auch Outdoor-Szenarien realisierbar. Die Anzahl der betrachteten Reflexionen kann über die Angabe eines Multireflexionslevels angegeben werden. In städtischem Gebiet hat sich hierbei ein Level von 3 – 4 als ausreichend gezeigt. Die Geländedaten können nicht im geografischen Format von Länge und Breite (z.B. SRTM-Daten) importiert werden, sondern müssen vorher in UTM oder Gauß-Krüger Koordinaten konvertiert werden. Die automatisierte Integration der Gebäude ist nicht über Schwarz-Weiß-Grundrissbilder, sondern nur über Vektordaten möglich, die mit den Methoden aus Abschnitt III.2.2 generiert werden können.

Auch mit der Software *Winprop* können flächige Immissionsverteilungen – in der vorliegenden Programmversion allerdings nur in horizontalen Ebenen – berechnet werden. Die synthetisierten Antennendiagramme sind einfach in das Programm integrierbar. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass sich die Höhe der Antenne auf den Mittelpunkt bezieht (Montagehöhe der Unterkante plus halbe Antennenhöhe). Es sind sowohl Indoor- als auch Outdoor-Szenarien realisierbar. Für die Integration von Geländedaten steht dem Benutzer eine Vielzahl von Filtern zur Verfügung, die er sich aber freischalten lassen muss. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Gebäudedaten automatisiert auf der Basis von Schwarz-Weiß-Bildern zu generieren. Als Nachteil hat sich erwiesen, dass keine schwebenden Objekte (wie z.B. Fußgängerbrücken) in einer Simulation berücksichtigt werden können. Durch das Aufspalten der Gesamtsimulation in ein „Preprocessing“ und die eigentliche Immissionsberechnung kann die Simulationszeit gerade bei Berechnungen von mehreren Basisstationen innerhalb derselben Modellierungsumgebung deutlich verkürzt werden.

Mit der Software *Wireless Insite* können generell flächige Immissionsverteilungen in horizontalen bzw. vertikalen Ebenen berechnet werden. Bei großen Szenarien werden aber der Rechenaufwand und der zur Verfügung stehende Speicherbedarf gesprengt. Die synthetisierten Antennendiagramme können zwar in das Programm eingelesen werden. Leider werden sie intern dann aber nur als isotroper Kugelstrahler behandelt. Um diesen Fehler zu vermeiden, ist es möglich, ein dreidimensionales Antennendiagramm zu importieren. Dies kann z.B. wie in [BOR 05] beschrieben generiert werden. Wie schon bei *Winprop* ist bei der Antennenhöhe zu berücksichtigen, dass sich diese auf den Mittelpunkt bezieht (Montagehöhe der Unterkante plus halbe Antennenhöhe). Mit *Wireless Insite* sind sowohl Indoor- als auch Outdoor-Szenarien realisierbar. Für die Integration von Geländedaten stehen dem Benutzer zwei Formate zur Verfügung (DEM bzw. DTED). Die automatisierte Integration der

Gebäude ist nicht über Schwarz-Weiß-Grundrissbilder, sondern nur über dreidimensionale Vektordaten möglich, die mit den Methoden aus Abschnitt III.2.2 generiert werden können.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle gesagt werden, dass alle Softwarepakete sowohl ihre Vorteile, aber auch Nachteile im Vergleich zu den anderen Programmen haben. Eine generelle Bewertung, welches Softwarepaket am besten geeignet ist, ist deswegen nur bedingt möglich. Dennoch ist unter der Berücksichtigung, dass Wireless Insite trotz deutlich erhöhtem Rechenaufwand, Speicherbedarf und Simulationszeit im Gegensatz zu den anderen beiden Programmen zu keinen genaueren Immissionsprognosen führt, festzuhalten, dass diese Software im Gegensatz zu den beiden anderen mit den oben genannten Einschränkungen zu bewerten ist.

Bezüglich der einzelnen Eingabeparameter sei an dieser Stelle nochmals angemerkt, dass der Anwender diese nicht einfach stur in die Programmen übernehmen sollte, da sich hierdurch unter Umständen deutliche Abweichungen in der Simulation ergeben können (vgl. z.B. den Azimutwinkel).

Die Abschätzung der Einarbeitungszeit in die einzelnen Softwarepakete kann in Abhängigkeit von bereits vorhandenem „Know How“ und Erfahrung des anwendenden Benutzers differieren und deswegen nur qualitativ angegeben werden. Generell wird die Dauer natürlich durch die Anzahl der zu berücksichtigenden Parameter beeinflusst. Da diese in den hier betrachteten Simulationen gleich war, kann bei allen Programmen von einer ähnlichen Einarbeitungszeit im Bereich von wenigen Tagen ausgegangen werden.

## Danksagung

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

Dank gilt vor allem dem Auftraggeber, dem Bundesamt für Strahlenschutz, für die Initiierung und finanzielle Förderung vorliegenden Untersuchungsvorhabens. Die vielen fachlichen Diskussionen und Anregungen unseres Betreuers, Herrn Geschwentner, haben die Qualität vorliegender Arbeit wesentlich mit geprägt.

Darüber hinaus gilt unser Dank Herrn Dr. Plotzke von der FGEU GmbH für die kostenneutrale Bereitstellung der Software EFC-400 sowie Herrn Wölfle und Herrn Wahl von der Firma AWE Communications für die kostengünstige Bereitstellung der Software Winprop. Sehr wertvoll waren die schnellen Reaktionen und die Unterstützung beim Umgang mit der Software.

Ferner sei an dieser Stelle Herr Paffenholz vom Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen dankend für die Erstellung und Bereitstellung der Schwarz-Weiß-Gebäudegrundrissbilder aus den Liegenschaftskatastern erwähnt.

Nicht zuletzt hat auch die konstruktive Mitarbeit der Mobilfunk-Netzbetreiber T-Mobile Deutschland GmbH, Vodafone D2 GmbH, E-Plus Mobilfunk GmbH & Co. KG und O<sub>2</sub> (Germany) GmbH & Co. OHG einen großen Anteil am Gesamtprojekt. Dies betrifft vor allem die Bereitstellung der technischen Daten der untersuchten Anlagen, die für eine korrekte messtechnische Erfassung sowie die rechentechnische Simulation notwendig waren. Insbesondere sei an dieser Stelle Herrn Schulz von Vodafone D2 GmbH, Niederlassung Nord-Ost für sein Engagement hinsichtlich der Messungen und Berechnungen an der Messe Düsseldorf gedankt.

Ebenso gilt unser Dank denjenigen Personen und Organisationen, die uns Zugang zu ihren Räumlichkeiten gestatteten und damit die Untersuchung eine Vielzahl unterschiedlicher Szenarien ermöglichte. Das betrifft vor allem die Messe Düsseldorf, die Zentrale von O<sub>2</sub> und die Allianz-Arena in München. Besonderer Dank gilt hier den Herren Möller von T-Mobile und Dr. Rechenbach von O<sub>2</sub>.



## Literaturverzeichnis

- [26. BImSchV] **26. BImSchV**, *Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)*, BGBl. Jg. 1996 Teil I Nr. 66, 20.12.1996.
- [BOR 04] **Chr. Bornkessel und M. Schubert**, *Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen*, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Zwischenbericht *Analyse der Immissionsverteilung*, Kamp-Lintfort, (2004).
- [BOR 05] **Chr. Bornkessel und M. Schubert**, *Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen*, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Abschlussbericht *Entwicklung geeigneter Mess- und Berechnungsverfahren*, Kamp-Lintfort, (2005).
- [BUWAL 03] **Mobilfunk-Basisstationen (UMTS-FDD) - Messempfehlung, Entwurf vom 17.09.2003**, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (METAS), Bern, (2003).
- [FEE 04] Merkblatt zum **FEE-2-Projekt**, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheitsschutz und Verbraucherschutz, (2004).
- [FV] Software FieldView vom EM-Institut; URL: <http://www.em-institut.de>
- [LAI 04] **Länderausschuss für Immissionsschutz**, *Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. Bundes-Immissionsschutzverordnung)*, Fassung vom 26.03.2004, [www.lai-immissionsschutz.de](http://www.lai-immissionsschutz.de), (2004).
- [Pau 00] **P. Pauli, D. Moldan**, *Reduzierung hochfrequenter Strahlung im Bauwesen – Baustoffe und Abschirmmaterialien*, 05/2000.
- [RYS 05] **H. Ryser, B. Mühlemann**, *Vergleichsmessungen mit UMTS Codeleistungs-Messgeräten*, Metas Bericht 2005-255-575, November 2005.
- [WUS 04] **M. Wuschek, C. Bornkessel, D. Manteuffel, M. Schubert und P. Schmidt**, *Möglichkeiten und Grenzen der Minimierung von Mobilfunkimmissionen: Auf Messdaten und Simulationen basierende Optionen und Beispiele*, Abschlussbericht für das Bayerische Landesamt für Umweltschutz, Regensburg, (2004).

## Abkürzungsverzeichnis

BlmSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BS	Basisstation
BCCH	Broadcast Control Channel (engl.) → Sende-Kontrollkanal (bei GSM)
BNetzA	Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Schweiz)
CPICH	Common Pilot Channel (engl.) → Pilotkanal (Kontrollkanal bei UMTS)
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power (engl.) → Äquivalente isotrope Strahlungsleistung
FDD	Frequency Division Duplex
GSM	Global System for Mobile Communications (engl.) → Globales System für Mobilkommunikation
LOS	Line of Sight (engl.) → Sichtverbindung
METAS	Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (Schweiz)
MS	Mobilstation
NLOS	Non Line of Sight (engl.) → keine Sichtverbindung
StOB	Standortbescheinigung
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (engl.) → Universelles Mobiltelekommunikationssystem