

5. Auswertung der Immissionsdatenbank

5.1 Grundsätzliches zur Datenbank

In den letzten drei Jahren wurden in Bayern und teilweise auch in anderen Bundesländern eine Vielzahl von Mobilfunkimmissionsmessungen durchgeführt. Teilweise handelte es sich dabei um groß angelegte Messkampagnen, wie das "Funkwellenmessprojekt Baden Württemberg" [MEN 04] oder das "EMF-Monitoring Bayern" [BER 04], zusätzlich wurden jedoch auch eine Vielzahl von kleineren Messprojekten in einzelnen Kommunen durchgeführt. Außerdem existieren noch Immissionsdaten aus Messkampagnen der RegTP, die beispielsweise im Internet eingesehen werden können.

Die Ergebnisse dieser verschiedenen Messaktionen sind aus verschiedenen Gründen nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar, da aufgrund unterschiedlicher Aufgabenstellungen die Vorgehensweise bei der Messpunktauswahl und die angewendeten Messverfahren sehr unterschiedlich sein können.

Die beiden oben erwähnten großen Messprojekte in Bayern bzw. Baden-Württemberg können aufgrund ihrer großen Messpunktanzahl (400 bzw. 900 Punkte) für sich allein ausgewertet werden. Bei den vielen vorliegenden kleinen Messprojekten mit typisch zehn Messpunkten erscheint es dagegen sinnvoll, eine Zusammenführung der Resultate in einer Datenbank zu realisieren, um so eine ausreichend große Datenbasis für statistische Aussagen bezüglich der Immissionsverteilung zu gewinnen.

Daher wurde im Rahmen dieses Projektes mit dem Auftraggeber vereinbart, eine Datenbank aufzubauen, in der mindestens 1.000 Messpunkte dokumentiert sind. Welche Messprojekte in die Datenbank aufgenommen werden können, hängt von folgenden "Qualitätskriterien" ab, die von der Messkampagne erfüllt sein müssen:

- Die Vorgaben der DIN VDE 0848 wurden bei der Immissionsermittlung beachtet.
- Die Messung wurden frequenzselektiv durchgeführt, als Immission wurde der Wert bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung angegeben. Im Messvolumen wird die höchste vorhandenen Feldstärke mittels eines geeigneten Abtastverfahrens (z.B. "Schwenkmethode") gesucht.
- Es wird nicht nur die HF-Summenimmission am Messpunkt dokumentiert (so wie es üblicherweise die RegTP in ihren Messkampagnen praktiziert), sondern es wird zusätzlich eine Unterscheidung nach Verursachergruppen (GSM, UMTS, LMK-Rundfunk, UKW, DAB, analoges TV, DVB-T) vorgenommen.
- Die Messunsicherheit ist dokumentiert, zusätzlich ist angegeben, ob sie auf die gefundenen Immissionswerte aufgeschlagen wurde oder nicht.
- Die Durchführenden der Messungen sind fachlich qualifiziert, die Messausrüstung unterliegt einer angemessenen Qualitätssicherung.

Zusätzlich zu den Immissionswerten müssen im Messbericht eine ganze Reihe von anderen Parametern dokumentiert sein, um weitergehende Auswertungen durchführen zu können:

- Entfernung zwischen Messpunkt und Mobilfunkstandort(en)
- Grobe Höhenangabe des Messpunktes (Stockwerk)
- Angaben zur Sichtverbindung zwischen Messpunkt und Mobilfunkstandort
- Angaben zum Mobilfunkstandort (Montagehöhe der untersten Antenne, Zahl der installierten Systeme) Diese Informationen können im Einzelfall auch nachträglich aus der Standortbescheinigung der RegTP entnommen werden)
- Beschreibung des Messpunktes (Adresse, Lage)
- Angaben zur Siedlungsstruktur der Umgebung des Messpunktes

Nur wenn all diese Voraussetzungen bezüglich Durchführung und Dokumentation der Messung erfüllt wurden, konnten die Resultate einer bestimmten Messkampagne in die Datenbank aufgenommen werden. Es entsteht dadurch eine Datenbasis aus Messwerten, die unter vergleichbaren Bedingungen aufgenommen wurden und sehr umfangreich dokumentiert sind, so dass eine intensive Auswertung der Daten mit belastbaren Ergebnissen möglich wird. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der einzelnen Messkampagnen herzustellen, wurden alle Immissionen um den Wert der im Messbericht angegebenen Messunsicherheit erhöht (falls nicht schon von vorne herein im Bericht dies vorgenommen wurde), bevor sie in die Datenbank aufgenommen wurden. Somit beinhalten alle in der Datenbank dokumentierten Messergebnisse die Messunsicherheit.

Woher stammen die Messergebnisse?

Der größte Anteil der Messergebnisse, die in die Datenbank aufgenommen wurden, stammen von kleineren Messprojekten, die zum überwiegenden Teil in bayerischen Kommunen in den Jahren 2001 bis 2004 durchgeführt wurden. Auftraggeber der Messungen waren entweder die Kommune selbst oder das Bayerische Landesamt für Umweltschutz. In einigen Fällen wurden die Messungen auch vom Landkreis oder einem Mobilfunkstandorteseigentümer (z.B. Kirchengemeinde) veranlasst. Gelegentlich traten die Netzbetreiber als formaler Auftraggeber auf, wobei sie derartige Messungen üblicherweise auf Anforderung einer Kommune veranlassen und bezahlen. Vor Ort wird die eigentliche Messpunktauswahl dann von der betroffenen Kommune vorgenommen, der Netzbetreiber tritt während der Immissionsermittlung nicht aktiv in Erscheinung.

Angestrebt wurde, dass alle tausend Messpunkte in Bayern liegen. Dies konnte jedoch nicht ganz realisiert werden, da leider nicht genügend "qualifizierte Messberichte" aus Bayern zur Verfügung standen und daher auch auf Messberichte aus anderen Bundesländern zurückgegriffen werden.

Da gewünscht wurde, mittels der Datenbank auch erste Aussagen über die Immissionen, verursacht durch UMTS-Sendeanlagen treffen zu können, wurden beispielsweise die Resultate einer Messkampagne aus Berlin (Frühjahr 2004) mit in die Datenbank aufgenommen, da an diesen 55 Punkten neben der GSM-Feldstärke auch die UMTS-Immissionen ermittelt wurden.

Insgesamt wurden die Resultate aus 109 kleineren bis mittelgroßen Messkampagnen (meist zwischen 5 und 50 Messpunkte, typisch 10 Messpunkte pro Kampagne) in die Datenbank aufgenommen. Die insgesamt 1.237 Messpunkte verteilen sich auf folgende Bundesländer:

Bundesland	Anzahl der Messpunkte
Baden-Württemberg	123
Bayern	943
Berlin	55
Hessen	53
Niedersachsen	10
Rheinland-Pfalz	21
Sachsen	10
Sachsen-Anhalt	16
Thüringen	6
Summe	1.237

Tab. 5.1: Verteilung der Messpunkte.

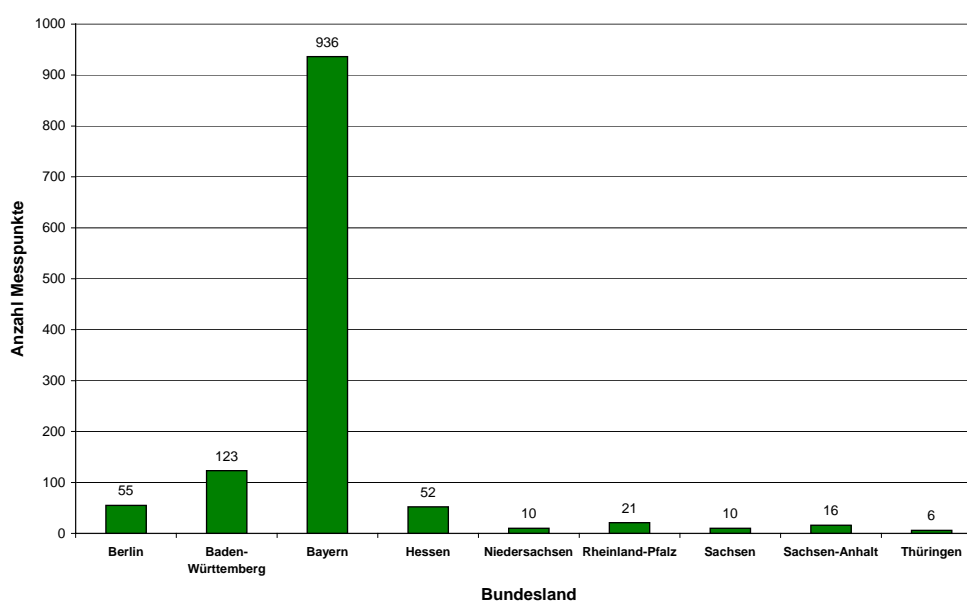


Abb. 5.1: Verteilung der Messpunkte.

An einigen der 1.237 Messpunkte wurde allerdings kein Mobilfunk, sondern nur Immissionen, verursacht durch sonstige Sendeanlagen (z.B. Rundfunk, TV)) gemessen, so dass für die im folgenden beschriebenen Auswertungen nur 1.229 Datensätze zur Verfügung stehen.

Die Kommunen, in denen die dokumentierten Messungen durchgeführt wurden, sind in Anlage 1 aufgelistet.

Wie wurden die Messkampagnen gestaltet?

Die hier betrachteten Kampagnen sind alle "mobilfunkbezogen". Das bedeutet, dass die Messpunkte im Regelfall bewusst in die nähere Umgebung von Mobilfunksendeanlagen gelegt wurden, da das Hauptziel der Messungen immer die Ermittlung von Immissionen durch Mobilfunkanlagen war, die sich in der Nähe von Siedlungsbereichen befinden. Die mittlere Entfernung zum nächsten Mobilfunkstandort betrug etwa 300 Meter, es gab allerdings auch Messpunkte die nur wenige Meter von den Mobilfunkantennen entfernt waren (z.B. Dachterrassen), allerdings wurden im ländlichen Bereich auch gelegentlich Messungen im Abstand von mehr als 1.000 Meter zur nächsten Anlage durchgeführt.

Diese bewusst gewählte Nähe zu Mobilfunkanlagen ist ein großer Unterschied zu anderen Messkampagnen, wie dem "Funkwellenmessprojekt Baden-Württemberg" oder dem "EMF-Monitoring Bayern", bei denen die Messpunkte möglichst statistisch verteilt wurden, und daher kein besonderes Augenmerk auf die besondere Nähe zu den Mobilfunkantennen gelegt werden durfte. Im Gegensatz zu diesen zwei großen Projekten, wurden die Messungen der Datenbankprojekte nicht nur an Punkten im Freien in Bodennähe sondern auch innerhalb von Gebäuden und möglichst auch in höheren Stockwerken durchgeführt.

Die Auswahl der Messpunkte in den einzelnen Projekten wurde meist durch Vertreter der Kommune vorgenommen, wobei häufig die Spezialisten der durchführenden Firma fachliche Unterstützung beisteuerten. Folgende typische Messpunkte sind in den einzelnen Projekten besonders häufig anzutreffen:

- Messpunkte im Bereich einer "empfindlichen Einrichtung" (z.B. Kindergarten, Schule, Altenheim, Krankenhaus, etc.).
- Messpunkte in Wohnungen, bei denen die Anwohner besondere Befürchtungen bezüglich der Immissionen, verursacht durch eine in Sichtweite befindliche Mobilfunkstation, geäußert haben.
- Messpunkte an Orten, an denen man mit besonders hohen Immissionswerten rechnet (z.B. Dachterrassen oder Balkone in geringer Entfernung zu Mobilfunkantennen).
- Messpunkte in der Umgebung von Standorten, die mit besonders vielen Mobilfunkanlagen bestückt sind.
- Messpunkte in unterschiedlichen Abständen zu einer Mobilfunkanlage, um die Ortsabhängigkeit der Immission zu dokumentieren.

- Messorte wurden gelegentlich auch deshalb ausgewählt, um durch die dort gefundenen Messergebnisse repräsentative Daten für Situationen zu erhalten, die immer wieder auftreten (z.B. Mobilfunkantenne auf dem Gebäudedach: Wie groß sind die Immissionen in den darunter liegenden Wohnungen bzw. in den einzelnen Stockwerken des Nachbarhauses?).

Folgende Bilder zeigen zwei typische Messpunktsituationen:



Abb. 5.2: Messung im Außenbereich einer Schule mit Mobilfunkanlage in unmittelbarer Nähe.



Abb. 5.3: Messung auf einer Dachterrasse mit Mobilfunkanlage auf dem Nachbardach.

Die Messpunktauswahl erfolgte also nicht bei jedem Projekt völlig gleich, da die einzelnen Kommunen unterschiedliche Schwerpunkte setzten. Es gibt daher Messkampagnen, bei denen nur im Freien in Bodennähe gemessen wurde, was unter Umständen durchaus sinnvoll sein kann, wenn beispielsweise die relevante Mobilfunksendeanlage weiter als etwa 200 bis 300 Meter entfernt ist. Bei anderen Projekten wurde ausschließlich innerhalb von Gebäuden gemessen. Über alle 1.237 Punkte gesehen, kann man feststellen, dass sich eine gute Mischung aus verschiedensten Immissionssituationen ergibt. Detailinformationen zur Charakterisierung der Messpunkte folgen weiter unten.

Folgende Abbildungen zeigen beispielhaft zwei typische Messpunktverteilungen innerhalb einer Kommune:

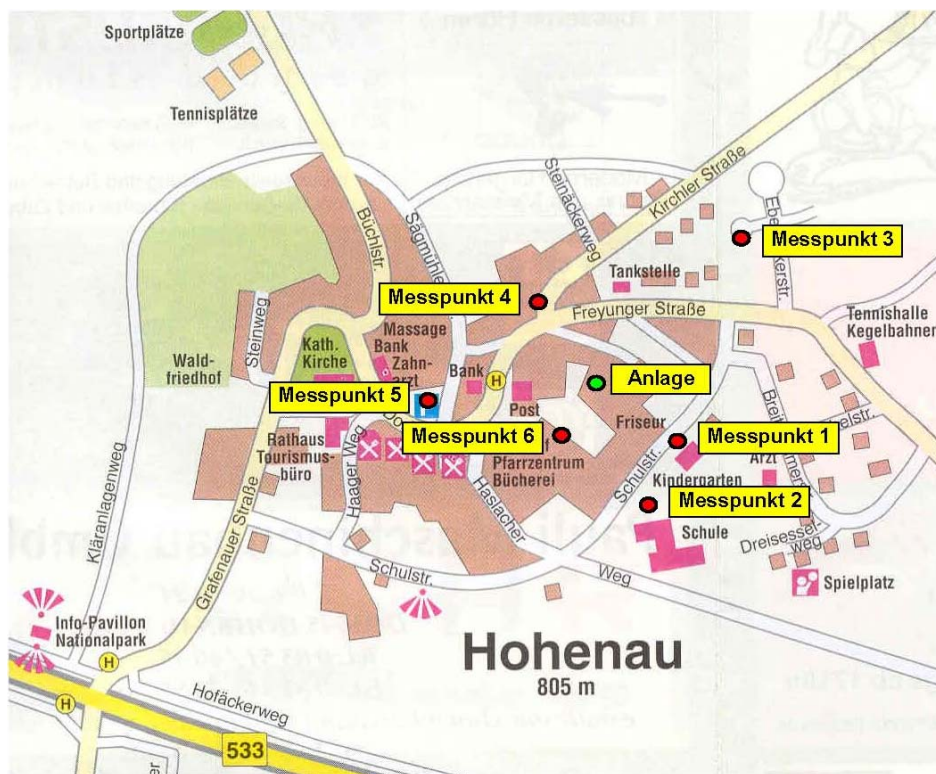


Abb. 5.4: Messkampagne, bei der die Punkte (rot) in unmittelbare Umgebung (Entfernung kleiner 250 m) der Mobilfunkanlage (grün) gelegt wurden.

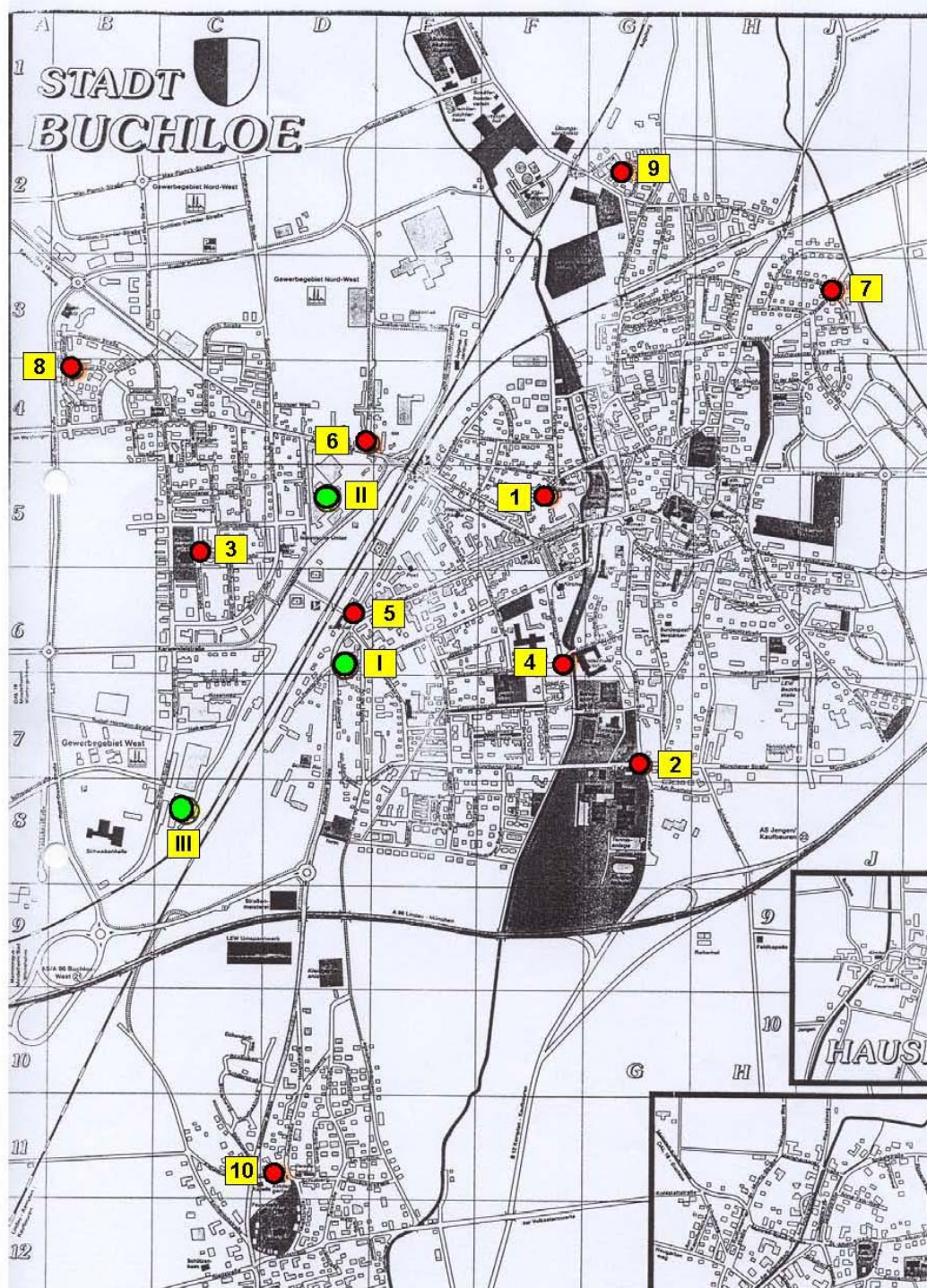


Abb. 5.5: Messkampagne, bei der nicht alle Punkte (rot) in unmittelbare Umgebung der Mobilfunkanlagen (grün) gelegt wurden (Abstände bis zu etwa 600 Meter).

An dem gewählten Messpunkt wurde vom Messteam jeweils versucht, die dort herrschende Maximalimmission zu finden (z.B. durch Öffnen der Fenster bei Indoormessungen oder, beispielsweise beim Außenbereich eines Kindergartens, durch Messung in dem Teil des Gartens, von dem aus Sichtverbindung zu den Mobilfunkantennen herrscht).

Aufgrund der regelmäßig gewählten besonderen Nähe der Messpunkte zu Mobilfunkstandorten, ist mit Sicherheit der Schluss zulässig, dass dort im Mittel überdurchschnittliche Immissionen durch Mobilfunk herrschen. Die in dieser Datenbank dokumentierten Ergebnisse repräsentieren daher auf keinen Fall die mittlere Exposition der Bevölkerung. Eher ist der Schluss zulässig, dass die im weiteren dokumentierten und diskutierten Resultate die typische Schwankungsbreite der Immission in Bereichen, die sich in näherer Umgebung von Mobilfunksendeanlagen befinden, repräsentieren.

Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass die bei GSM- und UMTS-Mobilfunk je nach Auslastungsgrad der verursachenden Stationen auftretenden zeitlichen Immissionsschwankungen nicht berücksichtigt werden, sondern immer der maximal mögliche Expositionswert bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung gemäß RegTP-Standortbescheinigung dokumentiert ist. Andere Untersuchungen dokumentieren, dass zwischen der minimalen und der hier angegebenen maximal möglichen Immission ein Unterschied von typisch 6 dB liegen kann [WUS 04].

5.2 Aufbau der Datenbank

Die Immissionsdatenbank wurde mit *MS-ACCESS* erstellt. Die Datenbank ist in die folgenden fünf einzelnen Tabellen unterteilt:

Tabellenname	Beschreibung
Antennen	Name und Beschreibung der verwendeten Messantennen
Auftraggeber	Name und Beschreibung der beauftragenden Institution
Durchführendes Institut	Name und Beschreibung des durchführenden Messfirma
Messgeräte	Name und Beschreibung der verwendeten Messgeräte
Ergebnisdaten	Beschreibung der Messpunkte und Messergebnisse

Tab. 5.2: Gliederung der Datenbank.

Die Tabellen "Antennen" und "Messgeräte" dienen zur Dokumentation der von den Messfirmen verwendeten Messausrüstung. Auf die in diesen Tabellen abgelegten Daten wird in der "Ergebnisdaten"-Tabelle zugegriffen (Auswahlfenster), wenn ein konkreter Messbericht in die Datenbank eingearbeitet wird. Vergleichbares geschieht mit den Daten, die in der Tabelle "Durchführendes Institut" abgelegt sind. Auch auf diese wird bei der Einpflege von Daten zugegriffen. Dadurch verringert sich der Aufwand bei der Dateneingabe, da immer wieder-

kehrende Angaben (Gerätebezeichnungen, Name und Adresse von Messfirmen etc.) aus vorbereiteten Tabellen übernommen werden können, wenn sie einmal eingegeben wurden.

Die eigentlichen Messergebnisse werden in die Tabelle "Ergebnisdaten" für jeden Punkt individuell eingegeben. Diese Tabelle unterteilt sich wiederum in folgende fünf Formularmasken, in denen folgende Angaben dokumentiert werden:

Formularmaske	Beschreibung
Allgemeine Angaben	Auftraggeber, Durchführender, Datum des Berichtes, Wetterbedingungen, verwendete Messgeräte, Messmethode, Größe des verwendeten Messunsicherheitszuschlags.
Lage des Messpunktes	Messpunktnummer im Messbericht, Anschrift oder Ortsbeschreibung des Messpunktes, Einwohnerzahlklasse der Kommune, Art der Besiedelung, Messpunktlage (Indoor/outdoor; Bodennähe oder Stockwerksangabe). Falls Mobilfunkanlage in weniger als 1.000 Meter Entfernung vorhanden: Sichtverbindung zur Mobilfunkanlage, topographischer Höhenunterschied zwischen Messpunkt und Mobilfunkstandort.
Ergebnisse Mobilfunk	Unterteilt in GSM und UMTS: Elektrische Feldstärke E in Prozent vom Grenzwert bzw. in V/m. Die Leistungsflussdichte S wird vom Programm automatisch aus der elektrischen Feldstärke errechnet. Anzahl der am Mobilfunkstandort betriebenen Systeme. Die Summenbildung aus GSM und UMTS wird vom Programm automatisch durchgeführt. Zusätzlich wird eine vereinfachte Prüfung durchgeführt, ob am Messpunkt der "Anlagegrenzwert" nach Schweizer NIS-Verordnung eingehalten wird.
Ergebnisse andere	Unterteilt in die Gruppen LMK, UKW/analogen TV/DAB/DVB-T, DECT sowie zwei frei definierbare Immissionsquellen (z.B. BOS-Funk, Radar): E in % vom Grenzwert bzw. in V/m. Die Leistungsflussdichte und die Summe aller hier eingegebenen Felder S wird vom Programm automatisch errechnet. Das Programm errechnet automatisch die Summe aus Mobilfunk und den "anderen Immissionen" (Angabe als E in V/m, als E in % vom Grenzwert und als Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$).

Gesamtsummen selektiv	Auswahlmöglichkeit welche der gemessenen Immissionsquellen zu einem weiteren Summenparameter zusammengeführt werden sollen. Das Programm errechnet automatisch die Summe ausschließlich der ausgewählten "Verursacher" (Angabe als E in V/m, als E in % vom Grenzwert, als Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$ und als ICNIRP-Summenwert.
-----------------------	---

Tab. 5.3: Gliederung der Tabelle "Ergebnisdaten".

Zur Visualisierung finden sich Screenshots der einzelnen Datenbank-Eingabemasken in Anlage 2.

5.3 Allgemeine Ergebnisse der Datenbankauswertung

Bevor auf speziell für die hier zu behandelnden Fragestellungen der Immissionsminimierung eingegangen wird, sollen an dieser Stelle einige allgemeine Informationen über die Gesamtheit der momentan in der Datenbank befindlichen Daten gegeben, sowie erste Auswertungen in Hinblick auf durchschnittliche Immissionswerte vorgestellt werden.

5.3.1 Charakterisierung der Messpunkte

In Tabelle 5.4 sind die wesentlichen Eigenschaften der Messpunkte im Überblick dargestellt.

Anzahl der Messpunkte in der Datenbank	1.237 Messpunkte
Anzahl der Messpunkte, an denen Mobilfunkimmissionen gemessen wurden	1.229 Messpunkte
Anzahl der Messpunkte, an denen neben dem Mobilfunk auch oder ausschließlich die Immissionen anderer Sendeanlagen gemessen wurden	208 Messpunkte
Einwohnerzahl der Kommune	Bis 1.000 Einwohner: 26 Punkte Bis 5.000 Einwohner: 325 Punkte Bis 10.000 Einwohner: 180 Punkte Bis 25.000 Einwohner: 224 Punkte Bis 50.000 Einwohner: 106 Punkte

	<p>Bis 100.000 Einwohner: 87 Punkte</p> <p>Über 100.000 Einwohner: 281 Punkte</p>
Art der Besiedelung	<p>Innerstädtisch > 10.000 Einwohner: 283 Punkte</p> <p>Vorstadt/Kleinstadt < 10.000 Einwohner: 395 Punkte</p> <p>Dorf/Markt < 5.000 Einwohner: 466 Punkte</p> <p>Einzelhof: 9 Punkte</p> <p>Außenbereich ohne Besiedelung: 45 Punkte</p> <p>Gewerbegebiet: 31 Punkte</p>
Lage der Messpunkte	<p>Indoor: 361 Punkte</p> <p>Outdoor: 868 Punkte</p>
Nutzung der Indoormesspunkte	<p>Wohnen: 152 Messpunkte</p> <p>"Empfindliche Nutzung" (z.B. KiGa, Schule): 110 Messpunkte</p> <p>Arbeitsplatz: 64 Messpunkte</p> <p>Öffentlicher Bereich: 17 Messpunkte</p> <p>Sonstige Nutzung (z.B. Treppenhaus, Dachboden): 18 Messpunkte</p>
Nutzung der Outdoormesspunkte	<p>Garten: 40 Messpunkte</p> <p>Öffentlicher Platz/Straße: 509 Messpunkte</p> <p>"Empfindliche Nutzung": 211 Messpunkte</p> <p>Wiese/Wald/Feld: 13 Messpunkte</p> <p>Balkon/Dachterrasse: 80 Messpunkte</p> <p>Sonstige Nutzung (z.B. Außentreppe, Flachdach): 15 Messpunkte</p>
Sichtverbindung zu Mobilfunkantennen	<p>856 Messpunkte mit Sichtverbindung</p> <p>312 Messpunkte ohne bzw. mit eingeschränkter Sichtverbindung</p> <p>61 Messpunkte ohne Angabe einer eventuellen Sichtverbindung</p>
Horizontaldistanz zum nächsten Mobilfunkstandort (Bei 1.167 von 1.229 Messpunkten ist eine Entfernung zur nächsten Mobilfunkanlage dokumentiert)	<p>Minimal: 1 Meter</p> <p>Maximal: 4.000 Meter</p> <p>Durchschnittlich: 315,6 Meter</p> <p>Im städtischen Umfeld: durchschnittlich 193,6 Meter</p>

	Im ländlichen Umfeld: durchschnittlich 493,5 Meter
Messpunkthöhe (Näherungsweise ermittelt aus der Stockwerksangabe)	1,5 Meter (Bodennähe; EG): 868 Messpunkte 4,0 Meter (1. OG): 151 Messpunkte 6,5 Meter (2. OG): 91 Messpunkte 9,0 Meter (3. OG): 28 Messpunkte 11,5 Meter (4. OG): 32 Messpunkte 14 - 24 Meter (≥ 5 . OG): 59 Messpunkte
Vertikalwinkel, unter dem der Messpunkt vom Antennenstandort aus gesehen erscheint (bei den 1.164 Messpunkten mit Entfernungsangabe i. d. R. unter Zuhilfenahme der Höhenangaben errechnet)	Von: $+18,1^\circ$ (d.h. Messpunkt liegt höher als Antenne) Bis: $-57,3^\circ$ Durchschnittlich: $-10,9^\circ$ Im städtischen Umfeld: durchschnittlich $-13,7^\circ$ Im ländlichen Umfeld: durchschnittlich $-7,2^\circ$
Zahl der für die Immission am Messpunkt relevanten Mobilfunksysteme*	Minimal: 1 System Maximal: 6 Systeme Durchschnittlich: 1,8 Systeme Im städtischen Umfeld: durchschnittlich 2,0 Systeme Im ländlichen Umfeld: durchschnittlich 1,5 Systeme

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

Tab. 5.4: Charakterisierung der Messpunkte.

Einige der in obiger Tabelle angegebenen Verteilungen werden in folgenden Bildern graphisch visualisiert:

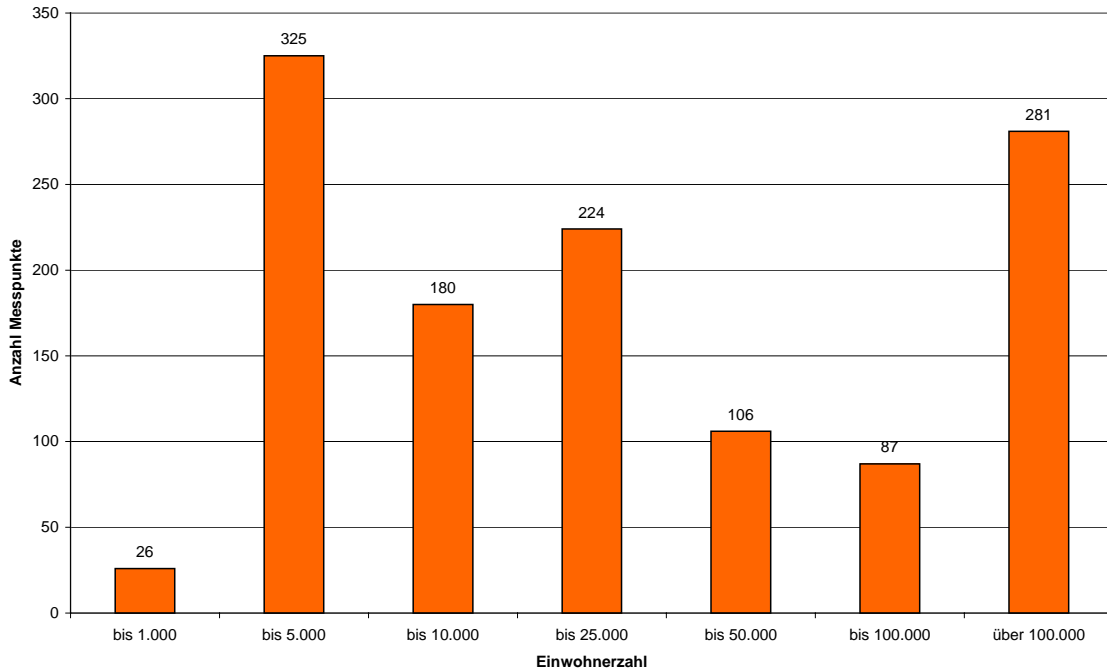


Abb. 5.6 Verteilung der Messpunkte auf Orte mit unterschiedlicher Einwohnerzahl.

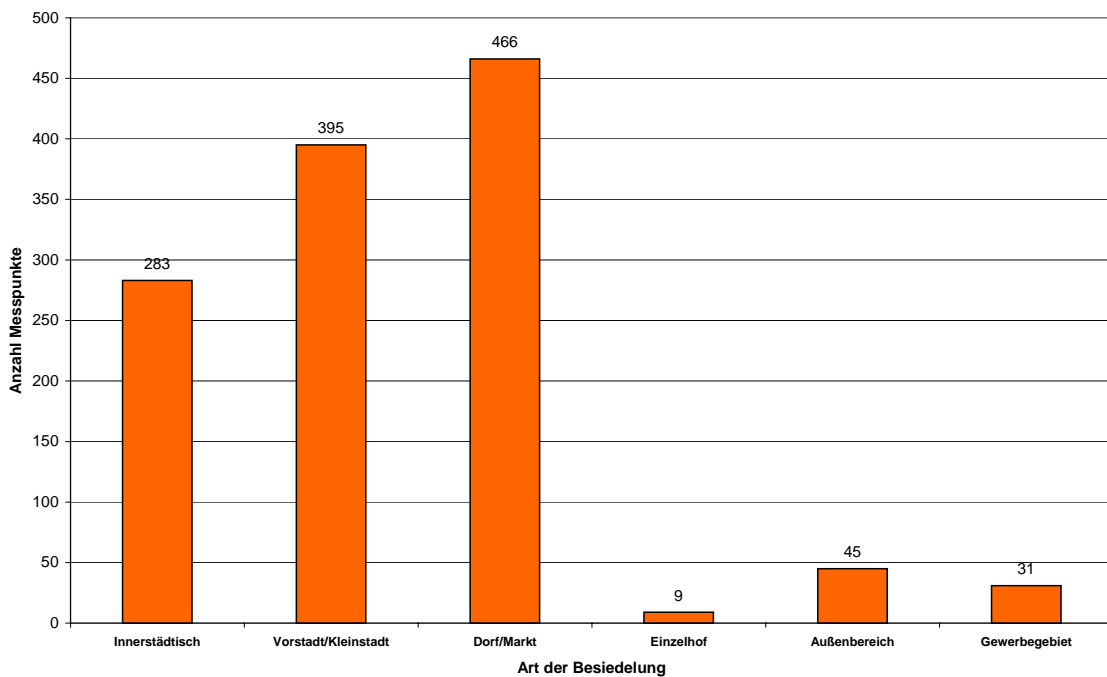


Abb. 5.7: Verteilung der Messpunkte auf unterschiedliche Besiedlungsstrukturen.

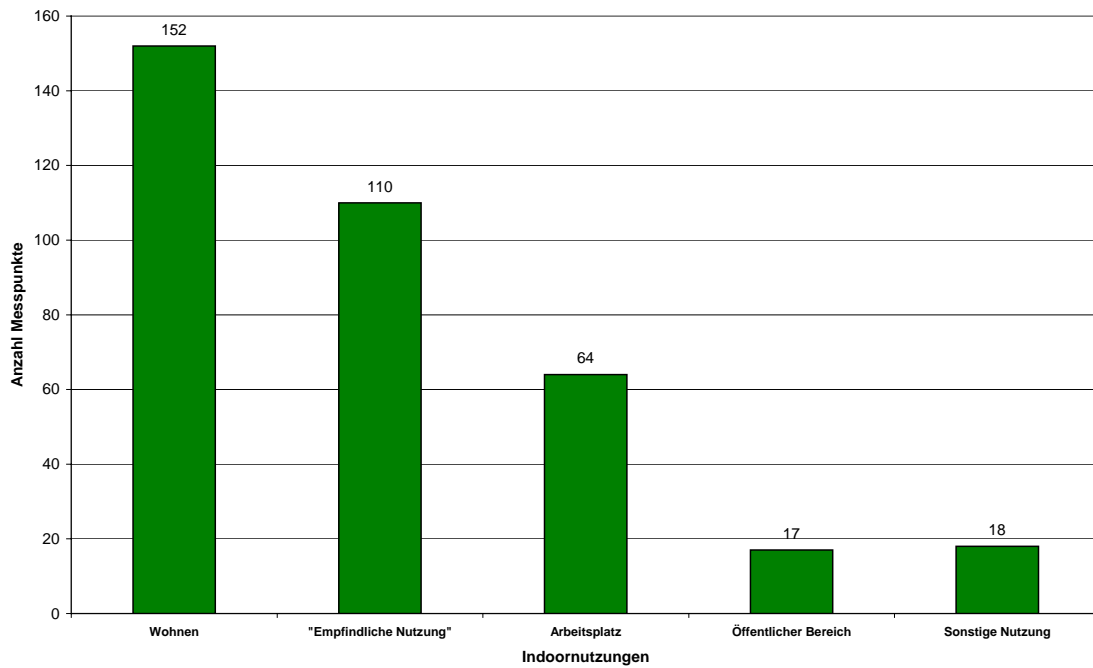


Abb. 5.8: Nutzung der 361 Indoormesspunkte.

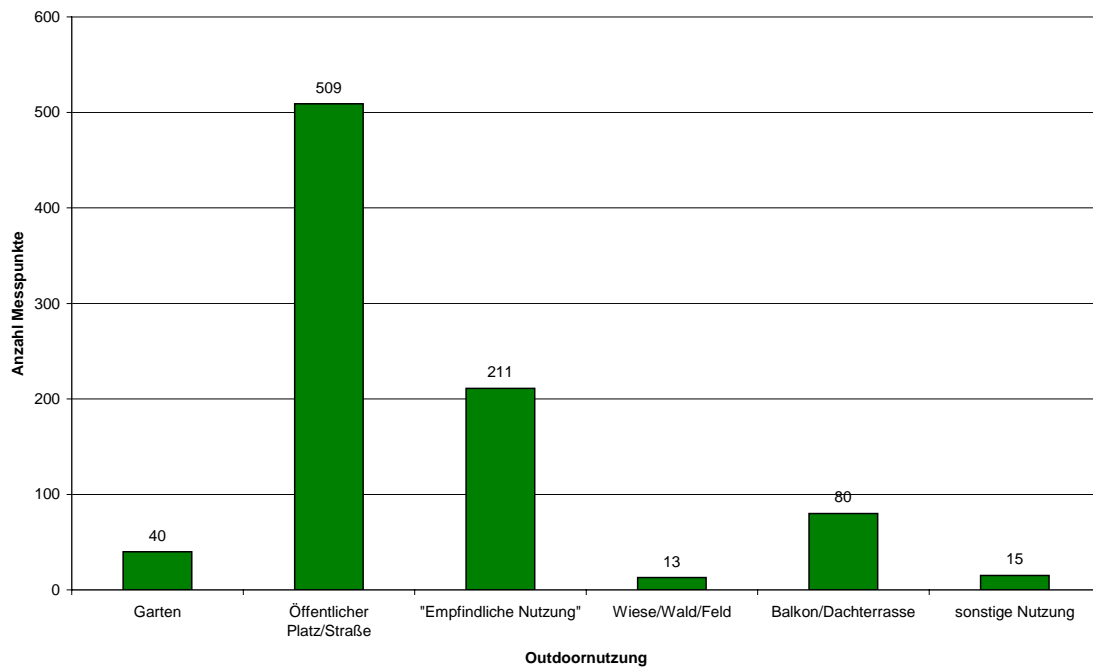


Abb. 5.9: Nutzung der 868 Outdoormesspunkte.

Die Auswertung in Tabelle 5.4 zeigt auch einige typische Unterschiede zwischen städtischen und ländlichen Messpunkten auf:

Im Mittel waren die Messpunkte im Stadtgebiet näher an den Anlagenstandorten gelegen, was durch den kleineren mittleren Zellradius im Stadtgebiet begründet werden kann. Auch finden sich im Regelfall in dicht bebauten Gebieten mehr Messpunkte in geringerem Abstand zu den Anlagen, als es im ländlichen Umfeld bei grundsätzlich lockerer Bebauungsdichte möglich ist. Ebenfalls durch die größere Anlagendichte begründbar, ist die Tatsache, dass im Stadtgebiet die mittlere Anlagenzahl pro Standort größer ausfällt als auf dem Land, wo ein Standort auch häufig nur von einem Betreiber genutzt wird. Dafür erscheinen die Messpunkte im städtischen Umfeld wegen der geringeren mittleren Entfernung im Durchschnitt unter einem steileren Vertikalwinkel als auf dem Land, was auf die Höhe der Immission - wie später noch genauer gezeigt wird - einen genau umgekehrten Einfluss ausübt als die mittlere Anlagenzahl.

5.3.2 Immissionsauswertung über alle 1.229 Messpunkte

Bevor spezieller differenziert wird, hier zunächst einige Auswertungen, die sich bei Betrachtung aller 1.229 Mobilfunkmesspunkte ergeben und deren Resultate interessant für die Beurteilung der Immissionssituation beim Mobilfunk erscheinen.

In Tabelle 5.5 sind einige wesentliche Resultate aus der Betrachtung aller Datensätze zusammenfassend dargestellt (Beachte: Es handelt sich hier immer um die Immission, die aus den Messwerten unter Zuhilfenahme der Betreiberangaben für den Fall höchster betrieblicher Anlagenauslastung hochgerechnet wurde!). Bei den Angaben in "Prozent vom Grenzwert" ist in dieser und in allen anderen Tabellen dieses Kapitels immer die feldstärkebezogene Darstellung gemeint.

Absolut größter Immissionswert (aus 1.229 Messpunkten)	27,89 % vom Grenzwert (Sichtverbindung zu einer Mobilfunkanlage vorhanden)
Absolut kleinster Immissionswert (aus 1.229 Messpunkten)	0,003 % vom Grenzwert (Messpunkt ohne Sichtverbindung zu einer Mobilfunkanlage)
Kleinster Immissionswert bei vorhandener Sichtverbindung (856 Messpunkte)	0,02 % vom Grenzwert
Spannweite zwischen kleinster und größter Immission	Ca. 79 dB (ca. Faktor 9.300) über alle 1.229 Punkte Ca. 63 dB (ca. Faktor 1.400) bei Punkten mit Sichtverbindung (856 Punkte)
Größter Immissionswert bei fehlender bzw. eingeschränkter Sichtverbindung zu einer Mobilfunkanlage (312 Messpunkte)	12,26 % vom Grenzwert

Im Mittel vorhandene Immission (aus 1.229 Messpunkten)	3,87 % vom Grenzwert
Im Mittel vorhandene Immission an Punkten mit Sichtverbindung zu einer Mobilfunkanlage (856 Punkte)	4,54 % vom Grenzwert
Im Mittel vorhandene Immission bei fehlender bzw. eingeschränkter Sichtverbindung zu einer Mobilfunkanlage (312 Messpunkte)	1,62 % vom Grenzwert
Mittlerer Unterschiedsfaktor zwischen Punkten mit Sicht und Punkten ohne Sicht zu Mobilfunkanlagen	Ca. 9 dB (Faktor 2,8)
Mittelwerte indoor/outdoor	Indoor: 5,02 % vom Grenzwert (361 Punkte) Outdoor: 3,28 % vom Grenzwert (868 Punkte)
Mittelwert an Orten mit "empfindlicher Nutzung" (110 Punkte)	2,79 % vom Grenzwert
Perzentile (aus 1.229 Messpunkten)	50 %-Perzentil: 1,20 % (Median) 75 %-Perzentil: 3,03 % 90 %-Perzentil: 5,53 % 95 %-Perzentil: 8,36 %

Hinweis: Durchschnittliche Immissionen werden hier und auch bei allen folgenden Auswertungen immer durch quadratische Mittelwertbildung ermittelt, da gemäß dem zu Grunde liegenden biologischen Wirkungsmodell, die aufgenommene Leistung für die biologische Beurteilung heranzuziehen ist und diese vom Quadrat der Feldstärke abhängt. Der Mittelwert gibt also an, welche Feldstärke die gleiche Leistungsflussdichte erzeugt, als sie im Mittel an den Messpunkten feststellbar war.

Tab. 5.5: Überblick über wesentliche Eigenschaften der dokumentierten Messergebnisse.

Einige Anmerkungen zu den Ergebnissen aus Tabelle 5.5:

Der größte Immissionswert wurde auf einer Hochhausdachterrasse in Augsburg gemessen. Die verursachende Mobilfunkanlage (ein GSM1800-System) befand sich in etwa 40 Meter Entfernung auf dem Dach des Nachbarhochhauses. Sichtverbindung zu den Antennen bestand. Auf diesen Messpunkt wird in Kapitel 7.3.4 nochmals näher eingegangen.

Der kleinste in der Datenbank dokumentierte Immissionswert wurde in ländlicher Umgebung an einem Punkt in mehr als einem Kilometer Entfernung zu einer Mobilfunkstation gemessen. Sichtverbindung zu den Antennen bestand nicht.

Es ergibt sich also eine sehr große Dynamik der Messergebnisse (fast 80 dB), wenn man alle Messpunkte heranzieht. Immerhin beträgt die Dynamik noch 63 dB, wenn nur die Punkte mit Sichtverbindung zu einer Mobilfunkstation berücksichtigt werden.

Die grundsätzliche Größenverteilung der Messergebnisse ist in folgender Abbildung dargestellt:

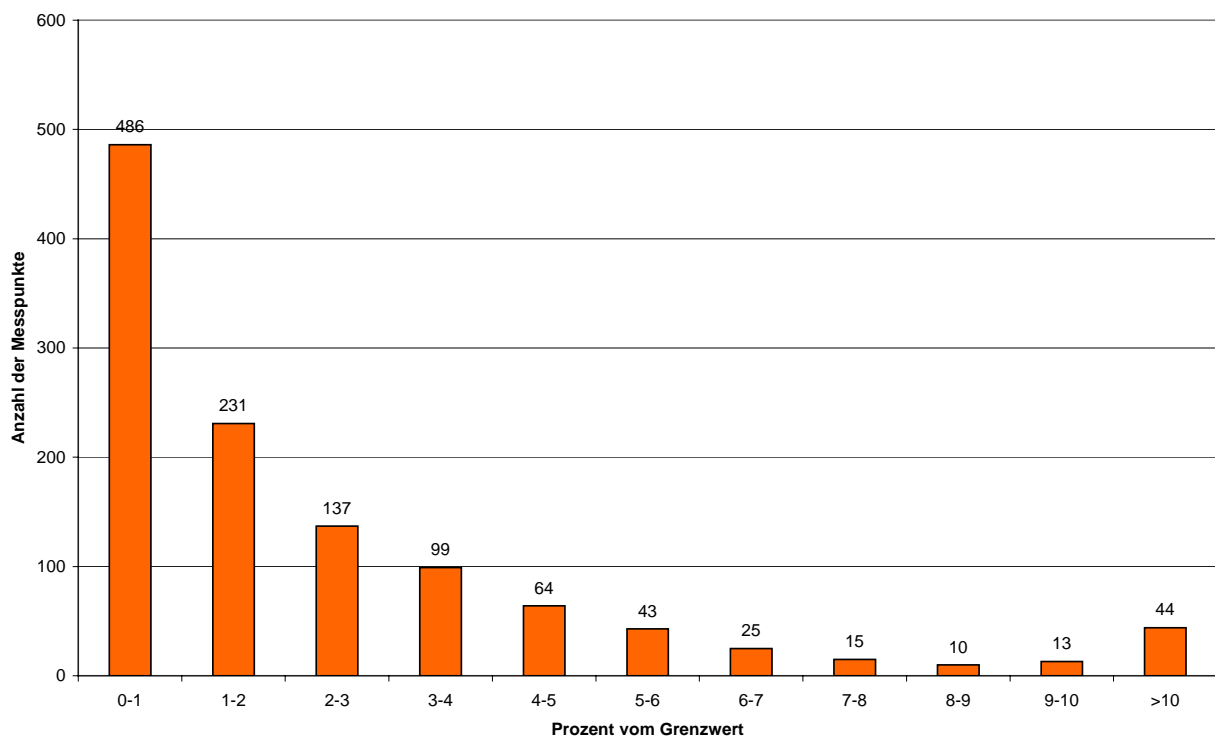


Abb. 5.10: Verteilung der Messergebnisse.

Es ist eine deutliche Tendenz zu einer Häufung von Messwerten unter 2 Prozent feststellbar. Wie auch aus dem Median in Tabelle 5.5 abgelesen werden kann, bleibt die Mehrzahl der gemessenen Immissionen unter 1,2 Prozent vom Grenzwert. Immissionen über 10 Prozent vom Grenzwert treten offensichtlich nur sehr selten auf, obwohl man bei vielen der in der Datenbank abgelegten Messkampagnen durchaus bemüht war, insbesondere auch an Orten zu messen, an denen besonders hohe Immissionen vermutet wurden (Dachterrassen, Balkone in höheren Stockwerken etc.).

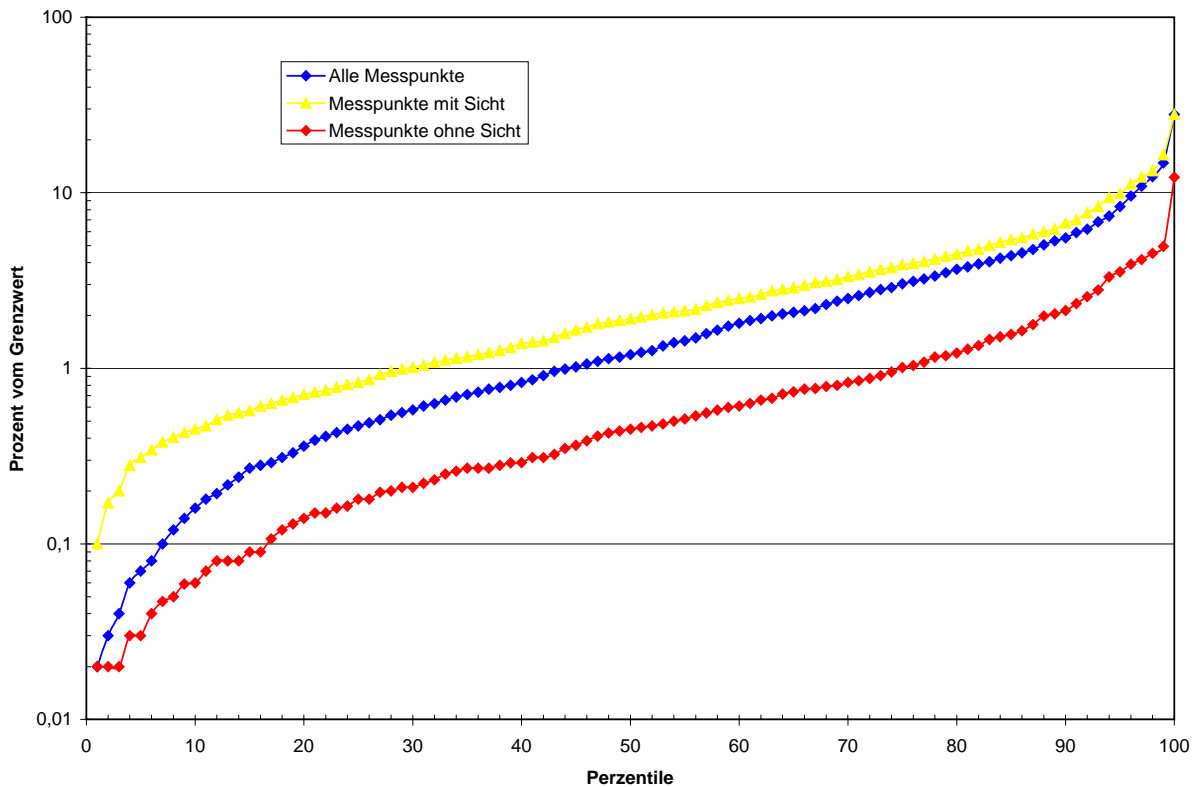


Abb. 5.11: Darstellung der Perzentilwerte.

Der recht große Unterschied zwischen Median (1,20 %) und durchschnittlicher Immission (3,87 %) ist auf die quadratische Mittelwertbildung zurückzuführen, bei der die wenigen überdurchschnittlichen Immissionswerte überproportional eingehen.

Beurteilungswert	Sicht	Keine Sicht	Alle Messpunkte
Durchschnittliche Immission	4,54 %	1,62 %	3,87 %
Median	1,91 %	0,45 %	1,20 %

Tab. 5.6: Durchschnittswert und Median in Abhängigkeit von der Sichtverbindung.

Fazit: Die Grenzwerte der 26. BImSchV wurden an allen Messpunkten deutlich unterschritten. Der größte gemessene Immissionswert betrug etwa 28 Prozent vom Grenzwert. Im Mittel ergab sich eine Immission von 3,87 % vom Grenzwert. Der Medianwert betrug 1,2 Prozent vom Grenzwert.

Interessante Erkenntnisse liefert auch eine Auswertung der mittleren Immissionswerte in Abhängigkeit von der Besiedlungsstruktur der Messpunktumgebung. Folgende Abbildung stellt die mittlere Immission für alle Messpunkte bis 1.000 Meter Abstand zur nächsten Mobilfunkstation für vier unterschiedliche Besiedelungsklassen dar. Zusätzlich ist in der Graphik auch die mittlere Entfernung zum Mobilfunksender angegeben.

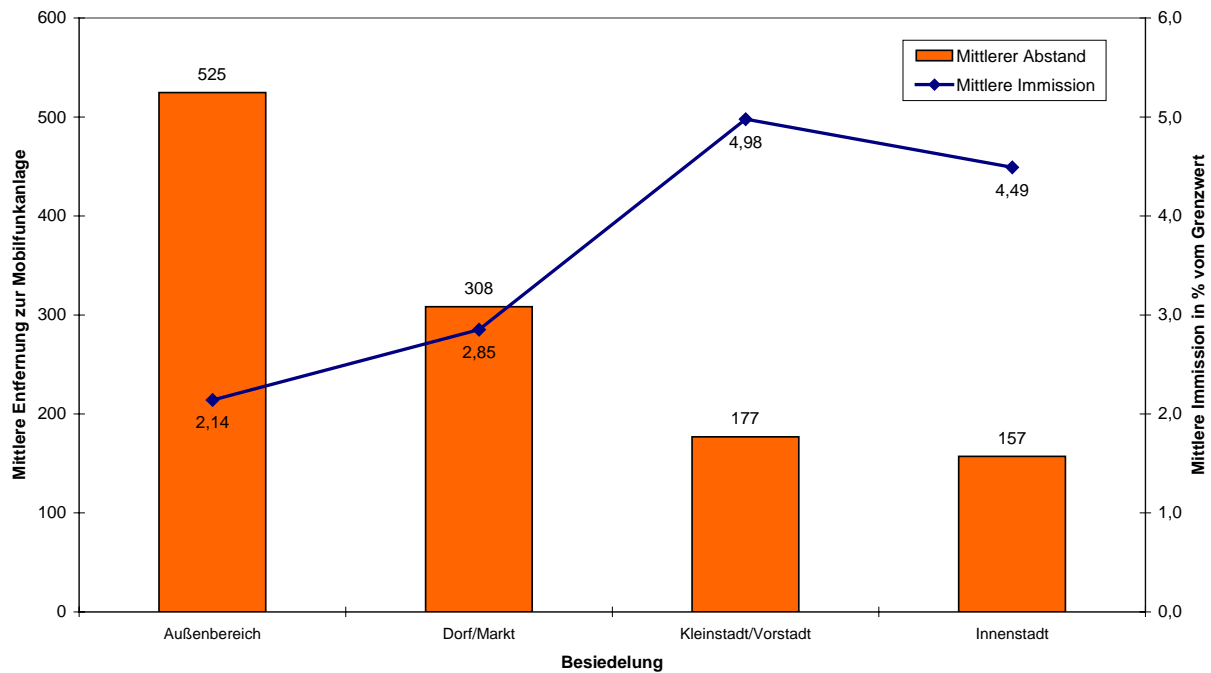


Abb. 5.12: Immission in Abhängigkeit von der Besiedlungsstruktur.

Im unbesiedelten Außenbereich und an Messpunkten in ländlicher Umgebung traten also im Mittel niedrigere Immissionswerte auf als im dicht bebauten städtischen Umfeld, wo auch die mittlere Entfernung zur nächsten Mobilfunkanlage geringer ausfällt als auf dem Land. Bemerkenswert ist allerdings, dass der Unterschied bezüglich der mittleren Immission unterproportional ausfällt. Obwohl die Mobilfunksender im innerstädtischen Bereich um mehr als den Faktor 3 näher am Messpunkt liegen als im Außenbereich, ergibt sich nur eine um etwa den Faktor 2 größere Immission. Hier zeigt sich offensichtlich der Einfluss der vertikalen Bündelung von Mobilfunkantennen: Die Messpunkte im Außenbereich sind im Mittel zwar weiter entfernt, sie befinden sich jedoch häufiger im Bereich der vertikalen Hauptkeule als die Punkte im innerstädtischen Umfeld.

Eine weitere Bestätigung dieser Vermutung findet man, wenn man nur Messpunkte in Bodennähe betrachtet (Abbildung 5.13). Es ergeben sich dann im Mittel niedrigere absolute Immissionswerte als bei der Betrachtung aller Messpunkte (Abbildung 5.12).

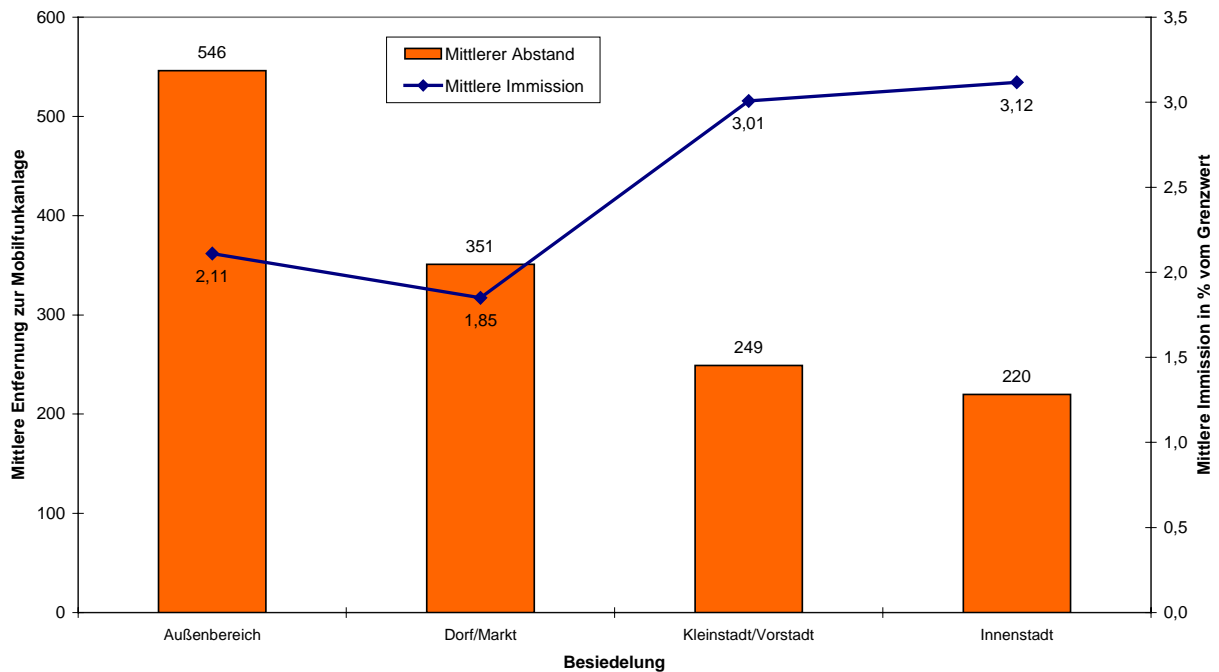


Abb. 5.13: Immission in Abhängigkeit von der Besiedlungsstruktur (nur Messpunkte in Bodennähe).

Fazit: Im unbesiedelten Außenbereich und an Messpunkten in ländlicher Umgebung wurden im Mittel niedrigere Immissionswerte festgestellt als im dicht bebauten städtischen Umfeld.

5.3.3 Immissionsvergleich GSM - UMTS

Nachdem seit etwa einem Jahr im Bereich der größeren Städte bereits eine nennenswerte Anzahl an UMTS-Sendeanlagen in Betrieb sind, soll auch der Frage nachgegangen werden, wie sich die Immissionen von GSM- bzw. UMTS-Sendern in der Größenordnung zu einander verhalten. Insgesamt befinden sich derzeit in der Datenbank 116 Messpunkte, an denen sowohl GSM- als auch UMTS-Immissionen gemessen wurden. Ein großer Teil dieser Punkte stammt aus einer Messkampagne in Berlin im Frühjahr 2004. Die noch vergleichsweise geringe Messpunktezahl sollte im Auge behalten werden, wenn es darum geht, allgemeingültige Schlüsse aus dem folgenden Vergleich zwischen GSM und UMTS zu ziehen. Die Ergebnisse des Vergleichs sind in Tabelle 5.7 und Abbildung 5.14 zahlenmäßig angegeben, wobei hier nochmals angemerkt wird, dass sowohl für GSM als auch für UMTS die Immissionen bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung angegeben sind (typischerweise beantragen die Betreiber für den jeweiligen Standort gleich zwei UMTS-Frequenzen bei der RegTP, nutzen derzeit jedoch nur eine). Die derzeit noch geringe Auslastung der UMTS-Stationen übt somit keinen Einfluss auf den Vergleich aus.

Besiedelungsklasse	Zahl der Messpunkte	Immission GSM	Immission UMTS
Dorf/Markt	13	2,51 %	2,36 %
Gewerbegebiet	11	3,89 %	1,92 %
Kleinstadt/Vorstadt	33	5,45 %	3,92 %
Innenstadt	59	4,10 %	4,85 %
Total	116	4,40 %	4,17 %

Tab. 5.7: Immissionsvergleich GSM - UMTS (Angabe in Prozent vom Grenzwert).

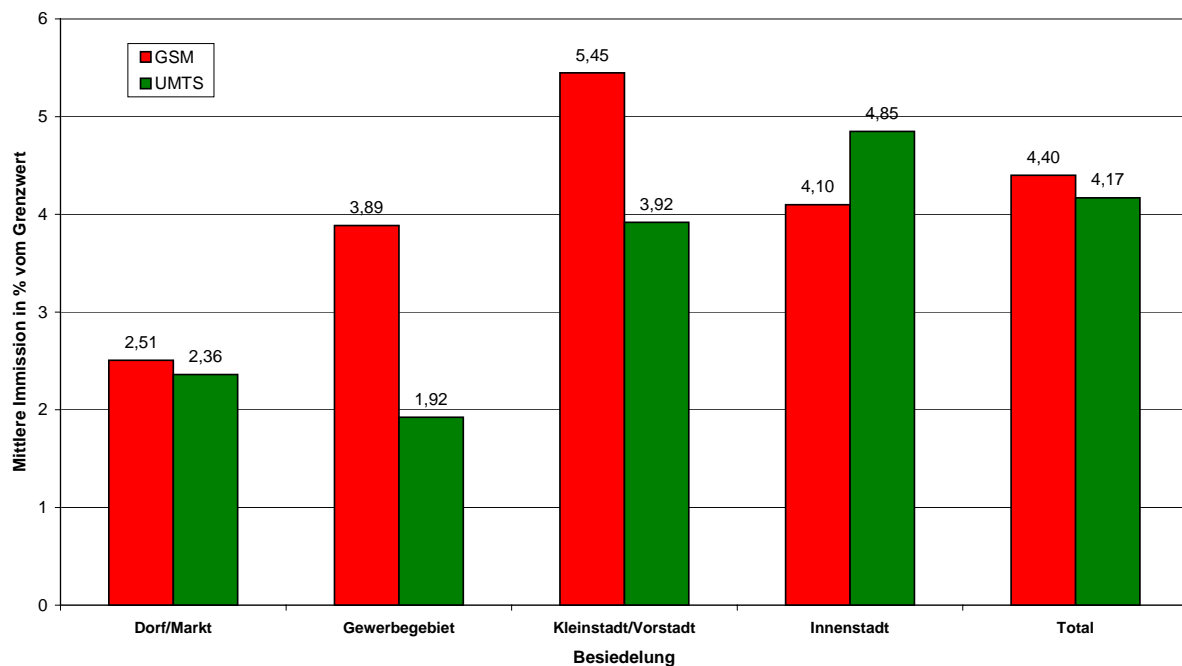


Abb. 5.14: Immissionsvergleich GSM - UMTS (Angabe in Prozent vom Grenzwert).

Die Auswertung der bisher in der Datenbank verfügbaren 116 Messpunkte zeigt, dass sich die GSM- bzw. die UMTS-Immissionen in etwa die Waage halten (4,40 Prozent zu 4,17 Prozent). Ein deutlicher Unterschied zwischen beiden Funkssystemen ist nicht zu erwarten, da beide Techniken mit ähnlichen Sendeleistungen arbeiten. Ergeben sich an einem Messpunkt deutlich höhere Messwerte durch UMTS als durch GSM, obwohl die verursachenden Antennen eng benachbart auf dem gleichen Gebäude oder Mast montiert sind, sollte man den Messbe-

richt kritisch in Augenschein nehmen, denn UMTS-Immissionen können bei unsachgemäßer Messdurchführung erheblich überbewertet werden [WUS 04-2].

In [WUS 04] wird darauf hingewiesen, dass bei fehlender Gesprächs- bzw. Datenlast die UMTS-Anlagen durch ihre permanent sendenden Signalisierungssignale um etwa den Faktor 2 (d.h. etwa 6 dB) weniger Feld emittieren, als die GSM-Sender durch ihre Signalisierungskanäle (BCCH-Träger). Dieser Unterschied zu GSM ist auf jeden Fall festzuhalten.

Da der UMTS-Ausbau in Deutschland derzeit bei weitem noch nicht abgeschlossen, ist es für eine endgültige Bewertung der UMTS-Immissionen auf jeden Fall noch zu früh. Insbesondere sind in der Datenbank noch keine Messergebnisse aus dem Umfeld der neuen "UHS-Standorte" von E-Plus mit besonders hoch montierten Antennen vorhanden.

Fazit: Die bisher vorliegenden Messergebnisse zeigen keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Höhe der Immission zwischen GSM und UMTS. Die Zahl der auswertbaren Messpunkte ist jedoch für eine abschließende Bewertung derzeit noch zu gering. Außerdem sind die UMTS-Netze in Deutschland bei weitem noch nicht flächendeckend ausgebaut.

5.4 Auswertung nach Kriterien, die für Minimierungsüberlegungen bedeutsam sein könnten

5.4.1 Vergleich mit Grenzwerten bzw. Empfehlungen unterhalb der Vorgaben der 26. BImSchV

Häufig werden im Rahmen der öffentlichen Diskussion um Standorte für Mobilfunksendeanlagen Grenzwerte bzw. Empfehlungen ins Spiel gebracht, die teilweise sehr deutlich unter den Vorgaben der 26. BImSchV liegen. Häufig besteht bei den Beteiligten an derartigen Diskussionen keine oder nur wenig Vorstellung, ab welchen Abständen zu Mobilfunksendeanlagen derartige verschärfte Vorgaben sicher eingehalten werden können. Simulationsrechnungen können hier Aufklärungsarbeit leisten. Die hier vorliegende Datenbank kann natürlich ebenfalls bezüglich dieser Grenzwerte ausgewertet werden, was im folgenden für drei, besonders häufig zur Diskussion gestellte Grenzwerte bzw. Empfehlungen durchgeführt wurde. Es handelt sich dabei um

- die "Anlagegrenzwerte" für "Orte mit empfindlicher Nutzung" nach Schweizer NIS-Verordnung,
- die Empfehlungen des ECOLOG-Institutes, Hannover, sowie
- die "Salzburger Empfehlung".

Im folgenden wird das jeweilige Modell kurz vorgestellt, anschließend folgt das Ergebnis der Datenbankauswertung bezüglich der Einhaltung der entsprechenden Grenzwerte bzw. Empfehlungen.

Schweizer "Anlagegrenzwerte" für "Orte mit empfindlicher Nutzung"

In der Schweiz gelten für "Orte mit empfindlicher Nutzung" (OMEN), also für Räume in Gebäuden, in denen sich Personen regelmäßig während längerer Zeit aufhalten (das sind z.B. Wohnräume, Schulräume, Kindergärten, Krankenhäuser, Alters- und Pflegeheime, ständige Arbeitsplätze), sowie für Pausenhöfe von Schulen, Außenbereiche von Kindergärten, raumplanungsrechtlich festgesetzte Kinderspielplätze und geplante Baugebiete, strengere Grenzwerte als in Deutschland [BUWAL 99]. An allen anderen Orten (z.B. im Garten oder auf Straßen und Plätzen) sind die gleichen Grenzwerte wie in Deutschland anzuwenden. Auch Dachterrassen, Balkone, Treppenhäuser, Lagerräume, Autogaragen und -einstellplätze, Sport- und Freizeitanlagen, Badeanstalten, Aussichtsterrassen, Kirchen, Konzert- und Theatersäle sowie Tierställe sind nicht als "Orte mit empfindlicher Nutzung" anzusehen [BUWAL 02].

Die Schweizer Gesetzgebung beabsichtigt mit dieser Definition also nicht, besonders empfindliche Personengruppen mit niedrigeren Grenzwerten stärker zu schützen, sondern man ist bestrebt, an allen Orten, wo sich viele Menschen über längere Zeiträume aufhalten, die Immissionen besonders niedrig zu halten.

Die Datenbankauswertung wurde daher nur für Punkte vorgenommen, die als "Orte mit empfindlicher Nutzung" nach Schweizer Rechtslage anzusehen sind.

Die an den "Orten mit empfindlicher Nutzung" wirksame Immission wird - im Gegensatz zu den in Deutschland gültigen Vorgaben - standortbezogen ermittelt. Die zur Beurteilung heranzuziehende Immission ergibt sich dabei als Summe der Felder, die jeweils von einer einzelnen "Anlage" erzeugt werden. Die Verordnung definiert, dass eine "Anlage" alle Sendeantennen umfasst, die auf einem Mast angebracht sind oder die in einem engen räumlichen Zusammenhang - z.B. auf dem Dach des gleichen Gebäudes - stehen (Nur in Ausnahmefällen werden die Felder von Antennen, die auf verschiedenen Masten oder Dächern stehen, als eine einzige "Anlage" betrachtet [BUWAL 02]). Alle Einzelfelder, welche die Mobilfunkantennen einer "Anlage" am Messpunkt erzeugen, werden aufsummiert und anschließend mit dem nach der Verordnung für den Standort relevanten Grenzwert ("Anlagegrenzwert") verglichen.

Die verschärften Schweizer Vorgaben sind eingehalten, so lange an den "Orten mit empfindlicher Nutzung" folgende Summenfeldstärkewerte, verursacht durch die betrachtete "Anlage" nicht überschritten werden [BUWAL 99]:

Anlage für	Anlagegrenzwert
GSM900	4 Volt/m
GSM1800 oder UMTS	6 Volt/m
(GSM1800 oder UMTS) und GSM900	5 Volt/m

Tab. 5.8: Schweizer "Anlagegrenzwerte" für Mobilfunksender.

Ja nach Bestückung des benachbarten Anlagenstandortes, ergibt sich also für die einzelnen Messpunkte ein individueller "Anlagegrenzwert", mit dem die gemessene Immission zu vergleichen ist. Die Schweizer Vorgaben sind am Messpunkt auf jeden Fall eingehalten, wenn die dort herrschende Summenimmission unter 4 Volt/m bleibt. Bei Werten über 6 Volt/m kann sicher von einer Überschreitung ausgegangen werden. Beträgt die Immission zwischen 4 und 6 Volt/m, kann keine endgültige Aussage getroffen werden, ob die "Anlagegrenzwerte" eingehalten werden oder nicht, da in der Datenbank nicht dokumentiert ist, welche Art von Mobilfunkanlagen die Immission verursachen. An den Messpunkten mit Feldstärkewerten zwischen 4 und 6 Volt/m mussten daher eingehende Recherchen bezüglich der Art der verursachenden Anlage angestellt werden, um endgültig zu klären, ob die NISV eingehalten ist oder nicht.

Es muss an dieser Stelle noch zusätzlich angemerkt werden, dass in der Schweiz ein wesentlicher Unterschied bei der messtechnischen Immissionsbestimmung gegenüber der in Deutschland üblichen Vorgehensweise besteht: Während in Deutschland die gefundenen Immissionswerte üblicherweise um die Faktor der Messunsicherheit erhöht werden, wird in der Schweiz die Messunsicherheit nicht auf den Messwert aufgeschlagen [BUWAL 02-2]. Da alle in der Datenbank dokumentierten Immissionswerte inklusive Messunsicherheit zu verstehen sind, musste vor Durchführung des Vergleiches die Messunsicherheit wieder subtrahiert werden. Es ergibt sich dann folgendes Bild:

Beurteilung nach Schweizer NIS-Verordnung	Anzahl der Messpunkte
NISV eingehalten	1.219 Punkte
NISV nicht eingehalten	10 Punkte

Tab. 5.9: Ergebnis der Datenbankauswertung in Anlehnung an die Schweizer Rechtslage (Eingehalten ist die NISV, wenn der Messpunkt entweder kein OMEN ist oder der verschärfte "Anlagegrenzwert" am OMEN eingehalten wird).

Offensichtlich ist eine Überschreitung der Schweizer "Anlagegrenzwerte" in Deutschland nicht sehr häufig zu finden, obwohl die Schweizer Rechtslage für die Standortgenehmigungen in Deutschland ohne jede Relevanz ist. Vermutlich halten die meisten Mobilfunksendeanlagen in Deutschland an den "Orten mit empfindlicher Nutzung" in der Umgebung die Schweizer "Anlagegrenzwerte" ein, denn sonst hätten im Rahmen der, in die Datenbank eingearbeiteten Messkampagnen (bei denen oft bewusst auch Messung an "hoch exponierten" Punkten durchgeführt wurden) häufiger Überschreitungen festgestellt werden müssen.

Die Messresultate bestätigen allerdings nicht eindeutig, dass die Mobilfunksender, die sich in der Umgebung der betrachteten Messpunkte befinden, sicher die "Anlagegrenzwerte" einhalten, weil bei keiner der Messkampagnen eine vollständige Prüfung, wie in der Schweiz bei Mobilfunkanlagen üblich, durchgeführt wurde. Dafür wäre es beispielsweise notwendig, auf jeden Fall Messungen im Bereich der drei am höchsten exponierten "Orte mit empfindlicher

Nutzung" durchzuführen [BUWAL 02], während bei den hier betrachteten Messreihen immer nur stichprobenartig gemessen wurde.

Festzuhalten ist auch die Tatsache, dass es durch die Einführung der etwa um den Faktor zehn gegenüber der EU-Ratsempfehlung niedrigeren "Schweizer Anlagegrenzwerte" sicherlich nicht zu einer Reduktion der mittleren Immission der Schweizer Bevölkerung um ebenfalls den Faktor zehn gekommen ist, sondern dass durch diese Rechtsvorschriften vielmehr nur die Spitzenimmissionen an besonders exponierten Orten um einen bestimmten Faktor reduziert werden.

Interessant ist natürlich auch die Frage, in welchen Entfernungsbereichen von der Mobilfunkstation aus gesehen es zu Überschreitungen der Schweizer "Anlagegrenzwerte" kommen kann. In folgendem Bild sind alle Feldstärkewerte an Messpunkten bis 500 Meter Entfernung dargestellt. Zusätzlich sind die Grenzwertlinien ("Anlagegrenzwerte") nach Schweizer NIS-Verordnung eingezeichnet.

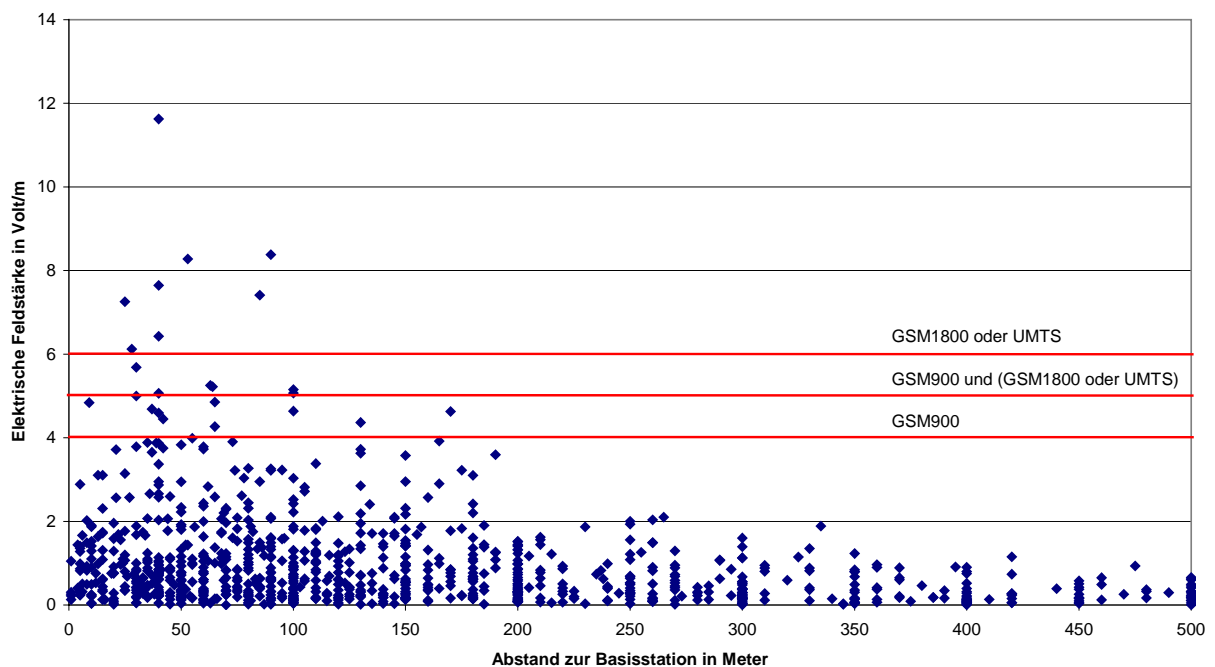


Abb. 5.15: Gemessene Feldstärkewerte im Vergleich zu den Schweizer "Anlagegrenzwerten" (Entfernungsbereich bis 500 Meter; Feldstärkewerte ohne Messunsicherheitsaufschlag).

Anmerkung: Aus Abbildung 5.15 kann nicht entnommen werden, wie viele Messpunkte die Vorgaben der Schweizer NIS-Verordnung verletzen, da die Angabe fehlt, welcher Anlagentyp (gem. Tab. 5.8) für die Immission jeweils verantwortlich ist. Sicher kann aus dieser Graphik jedoch abgelesen werden, dass alle Punkte, an denen weniger als 4 Volt/m gemessen wurden, die Schweizer Anlagegrenzwerte auf jeden Fall einhalten.

Überschreitungen finden sich typischerweise nur in Entfernungsbereichen von bis zu etwa hundert Meter vom Anlagenstandort. Bei größeren Abständen kann im Regelfall von einer Einhaltung der Schweizer "Anlagegrenzwerte" ausgegangen werden. Diese Tatsache kann beispielsweise in einfache Modelle zur Immissionsminimierung einfließen.

Fazit: Überschreitungen der "Schweizer Anlagegrenzwerte" treten offensichtlich in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen relativ selten und nur in Abständen von maximal etwa 100 Meter zur Anlage auf. Allerdings ist anzumerken dass die dokumentierten Messergebnisse nur Stichprobencharakter besitzen, da bei keiner der dokumentierten Messkampagnen eine vollständige Prüfung gemäß der Schweizer Vorgaben durchgeführt wurde.

Empfehlungen des ECOLOG-Institutes, Hannover

Seit längerem liegt vom ECOLOG-Institut, Hannover eine Empfehlung vor, in der maximale Leistungsflussdichtewerte vorgeschlagen werden, die betragsmäßig noch unterhalb der Schweizer "Anlagegrenzwerte" liegen [NEI 03]. Hier wird für "sensible Bereiche" (z.B. Wohngebiete, Schulen, Spielplätze, Krankenhäuser) ein Maximalwert der hochfrequenten Gesamtmission von $0,01 \text{ Watt/m}^2$ (d.h. etwa $1,94 \text{ Volt/m}$) vorgeschlagen (Immissionswert außerhalb des Gebäudes bei höchster betrieblicher Auslastung der verursachenden Anlagen). Es dürfen also alle hochfrequenten Immissionen (also neben dem Mobilfunk beispielsweise auch Rundfunk und Fernsehen) in der Summe an einem Punkt die ECOLOG-Empfehlung nicht überschreiten. Damit bleibt also für den Mobilfunk im Regelfall entsprechend weniger als $0,01 \text{ Watt/m}^2$ zur Verfügung (dies ist beispielsweise ein großer Unterschied zu den Schweizer "Anlagegrenzwerten", bei denen eine "Vorbelastung" durch andere Funksendeanlagen nicht berücksichtigt wird).

In der Öffentlichkeit hat sich allerdings folgende vereinfachte Betrachtungsweise eingebürgert: Wenn von "ECOLOG-Empfehlung" gesprochen wird, dann ist meist gemeint, dass die Immissionen des Mobilfunks allein in der Summe weniger als $0,01 \text{ Watt/m}^2$, respektive $1,94 \text{ Volt/m}$ betragen sollen.

Für diese vereinfachte Betrachtungsweise wurde eine entsprechende Datenbankauswertung durchgeführt. In folgendem Bild sind alle Feldstärkewerte an Messpunkten bis 500 Meter Entfernung dargestellt. Zusätzlich sind die Punkte, bei denen eine Mobilfunkfeldstärke größer $1,94 \text{ Volt/m}$ gemessen wurde, rot markiert.

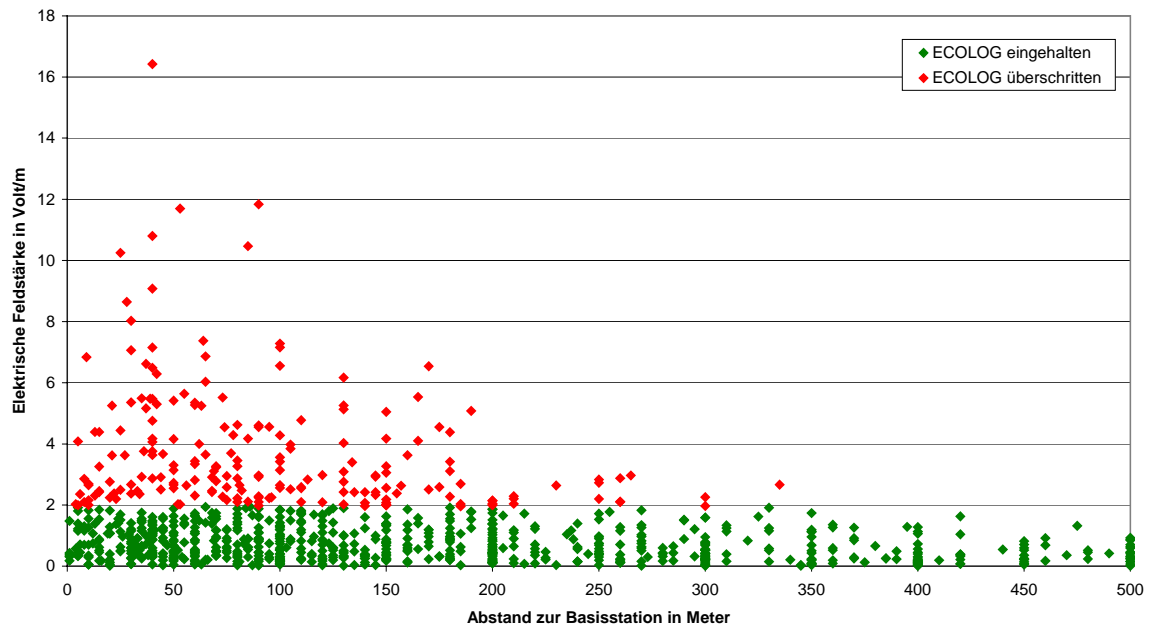


Abb. 5.16: Messwerte, die oberhalb der ECOLOG-Empfehlung (1,94 Volt/m) liegen (Entfernungsbereich bis 500 Meter).

Um also die ECOLOG-Empfehlung sicher einzuhalten, müssten "sensible Bereiche" mindestens etwa 300 Meter von der nächsten Mobilfunkstation entfernt, oder die Antennen sollten deutlich höher als die umgebende Bebauung montiert sein.

Insgesamt ergab die Datenbankauswertung, dass an 1.027 Punkten (84 Prozent) die ECOLOG-Empfehlung eingehalten, an 202 Punkten (16 Prozent) hingegen überschritten wird. Aus diesem Resultat kann nicht verallgemeinernd geschlossen werden, dass etwa 16 Prozent aller Mobilfunkanlagen die ECOLOG-Empfehlung nicht einhalten, da bei den Messkampagnen keine vollständige Prüfung der Einhaltung der ECOLOG-Empfehlung, sondern nur Stichprobenmessungen durchgeführt wurden. Außerdem wurden viele Messungen innerhalb von Gebäuden durchgeführt, während die ECOLOG-Empfehlung streng genommen an der Gebäudefassade (z.B. vor dem Fenster) eingehalten werden muss.

Fazit: Überschreitungen der ECOLOG-Empfehlung wurden deutlich häufiger festgestellt, als es bei den Schweizer "Anlagegrenzwerten" der Fall war. Sie können offensichtlich in Abständen von bis zu etwa 300 Meter zur Station auftreten.

"Salzburger Empfehlung"

Auch diese Empfehlung wird in Deutschland sehr häufig in die Diskussion um Mobilfunkstandorte eingebracht, allerdings meist in sehr unkorrekter Form. Daher im folgenden zunächst einige konkretisierende Anmerkungen zur "Salzburger Empfehlung":

- Häufig wird die "Salzburger Empfehlung" auf ganz Österreich übertragen, d.h. es wird behauptet, dass diese verschärften Richtwerte in ganz Österreich gelten, was nicht korrekt ist. Die Beurteilung von Mobilfunksendeanlagen wird derzeit in Österreich auf Basis der ÖNORM 1120 [ÖNORM 94] vorgenommen, in der Grenzwerte festgeschrieben sind, die vergleichbar mit denen der EU-Ratsempfehlung [EU 99] bzw. der 26.BImSchV sind (Genau genommen sind die österreichischen Grenzwerte sogar etwas höher als die Vorgaben der EU bzw. der 26. BImSchV).
- Klarzustellen ist auch, dass es keinen besonderen "Salzburger Grenzwert" gibt, der für das Bundesland oder die Stadt Salzburg Gültigkeit besitzt, denn in Österreich ist die Festlegung von Regelungen bezüglich der Immission durch elektromagnetische Felder - wie auch in Deutschland - Bundessache. Ein einzelnes Bundesland oder eine Kommune ist nicht berechtigt, für ihren Bereich vom Bundesrecht abweichende allgemein gültige Regelungen zu treffen. Es sollte also hier nicht von einem "Salzburger Grenzwert" sondern von der "Salzburger Empfehlung" gesprochen werden.
- Möglich ist die Einführung alternativer Richtwerte jedoch, wenn es um die privatrechtliche Verpachtung von öffentlichen Gebäuden und Liegenschaften für den Mobilfunk geht. Hier besteht natürlich im Rahmen der vertraglichen Gestaltungsmöglichkeit die Möglichkeit, vom Partner (d.h. Netzbetreiber) die Einhaltung niedrigerer Immissionswerte zu fordern.
- Zusätzlich hat die Verwaltung bzw. das Regionalparlament natürlich die Möglichkeit, die Bürger aufzufordern, bei Vermietung privater Standorte für den Mobilfunk ebenfalls die Einhaltung von alternativen Richtwerten zu fordern.
- Die "Salzburger Empfehlung" stammt von einem Vorschlag der Salzburger Landessanitätsdirektion und wurde vom Landesparlament unterstützt [OBE 03]. Auch im Rahmen einer Konferenz zum Thema "Situierung von Mobilfunkanlagen" in Salzburg im Juni 2002 wurde von einem Teil der Teilnehmer die "Salzburger Empfehlung" unterstützt [OBE 03].
- Wie weiter unten noch dargelegt wird, haben neutrale Messungen in Salzburg ergeben, dass die "Salzburger Empfehlung" selbst in Salzburg nicht eingehalten, sondern an manchen Stellen sehr deutlich überschritten wird. Die gelegentlich auch in der Presse publizierte Behauptung, dass in Salzburg Mobilfunknetze existieren, die unter Einhaltung der "Salzburger Empfehlung" aufgebaut wurden und auch funktionieren, ist also schlichtweg falsch. Vielmehr wurde die Einhaltung der "Salzburger Empfehlung" nur bei einer geringen Zahl von Sendeanlagen eines Betreibers im Rahmen eines Dialogverfahrens realisiert [OBE 03].

Festzuhalten ist also, dass die "Salzburger Empfehlung" (im Gegensatz beispielsweise zu den Schweizer "Anlagegrenzwerten") keine Rechtsverbindlichkeit besitzt.

Zahlenmäßig liegt die "Salzburger Empfehlung" nochmals deutlich tiefer, als die beiden bisher vorgestellten Beurteilungsmodelle. Es wird für den Mobilfunk eine maximale Leistungsflussdichte von 0,001 Watt/m² gefordert, was einer maximalen elektrischen Feldstärke von

0,61 Volt/m entspricht. Im Februar 2002 wurde diese Empfehlung sogar nochmals modifiziert und der Grenzwert auf $10 \mu\text{Watt/m}^2$ (0,061 Volt/m) im Freien bzw. $1 \mu\text{Watt/m}^2$ (0,019 Volt/m) in Innenräumen abgesenkt [OBE 03], allerdings ist hauptsächlich der "alte" Wert (1 Milliwatt/m^2) bisher in Deutschland populär geworden.

Auch bezüglich der "Salzburger Empfehlung" wurde eine entsprechende Datenbankauswertung durchgeführt. In folgendem Bild sind alle Feldstärkewerte an Messpunkten bis 2.000 Meter Entfernung dargestellt. Zusätzlich sind die Punkte, bei denen mehr als 0,61 Volt/m gemessen wurde, rot markiert.

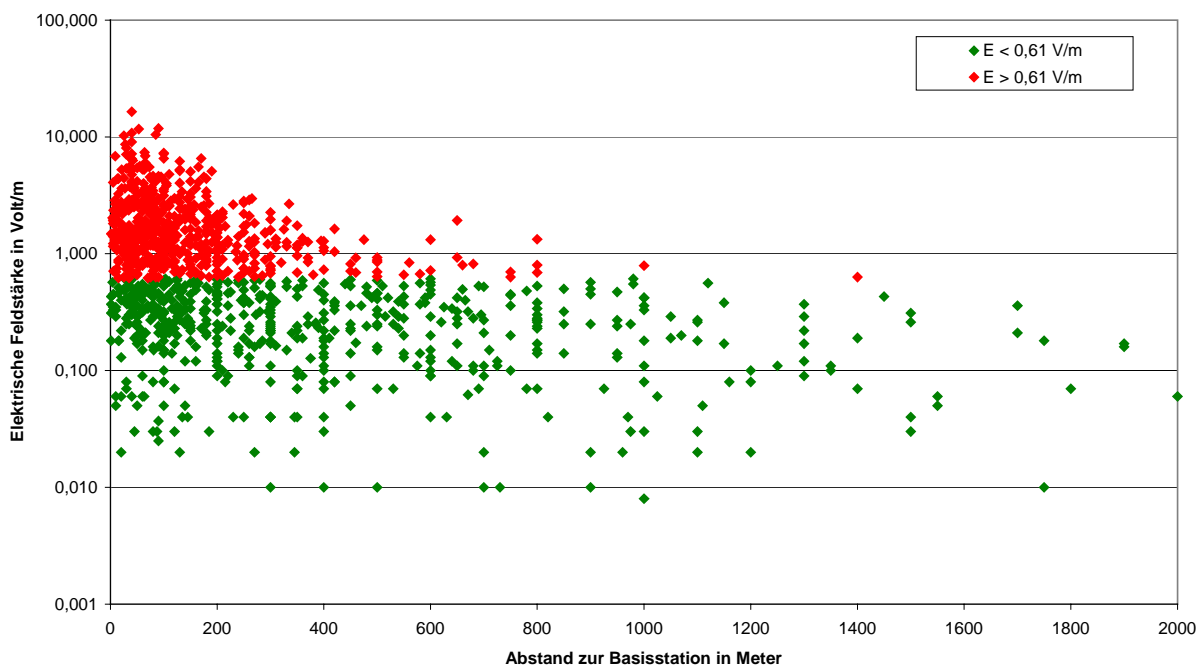


Abb. 5.17: Messwerte, die oberhalb der "Salzburger Empfehlung" ($0,001 \text{ Watt/m}^2$ bzw. 0,61 Volt/m) liegen (Entfernungsbereich bis 2.000 Meter).

An etwa jedem zweiten Messpunkte wurde der Wert von 1 Milliwatt/m^2 überschritten.

Wie obige Abbildung deutlich zeigt, können in Einzelfällen sogar in 1.000 bis 1.500 Meter Entfernung noch Immissionen oberhalb der "Salzburger Empfehlung" von 1 Milliwatt/m^2 gemessen werden, wenn eine gute Sichtverbindung zwischen Anlagenstandort und Messpunkt besteht (Bei den Anlagen, die an den beiden hier dokumentierten Messpunkten für eine Überschreitung der "Salzburger Empfehlung" in Entfernungen ≥ 1.000 Meter verantwortlich sind, handelt es sich um "Standardanlagen", also nicht etwa um Standorte mit besonders hoher Sendeleistung!).

Um die "Salzburger Empfehlung" sicher einzuhalten, müssten Mobilfunkanlagen offensichtlich entweder sehr weit (typisch mehr als 800 Meter) von Wohngebieten entfernt aufgebaut werden oder sie müssen mit deutlich geringerer Leistung betrieben werden als bisher üblich

(d.h. mehrfach genutzte Standorte wären dann ebenfalls als problematisch anzusehen). Wie in Kapitel 6.3 noch gezeigt wird, ist durch eine ausreichend hohe Montage der Mobilfunkantennen nicht mehr sicherzustellen, dass die "Salzburger Empfehlung" eingehalten werden kann (was bei den Schweizer Anlagegrenzwerten bzw. der ECOLOG-Empfehlung noch grundsätzlich als machbar erscheint).

Noch weiter ausgedehnt sind die Freihaltebereiche, wenn man die "neue Salzburger Empfehlung" ($10 \mu\text{Watt}/\text{m}^2$ bzw. $0,061 \text{ Volt}/\text{m}$ im Freien und $1 \mu\text{Watt}/\text{m}^2$ bzw. $0,019 \text{ Volt}/\text{m}$ in Innenräumen) als Bewertungsmaßstab heranzieht:

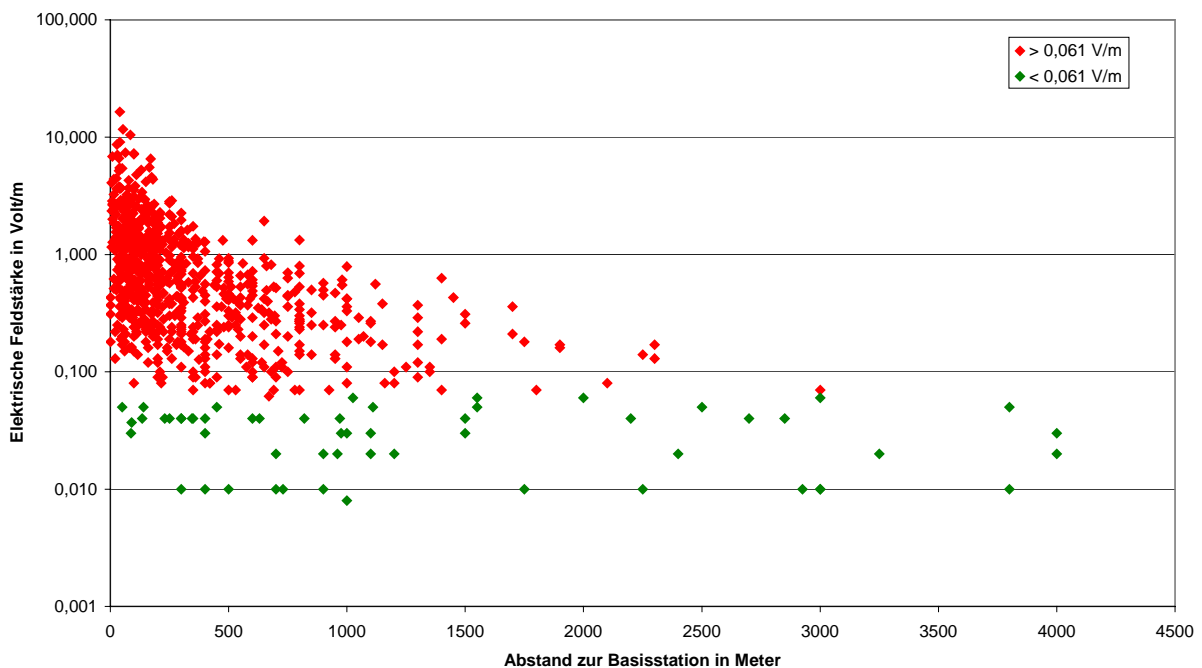


Abb. 5.18: Messwerte im Freien, die oberhalb der "neuen Salzburger Empfehlung" für Orte im Freien ($10 \mu\text{Watt}/\text{m}^2$ bzw. $0,061 \text{ Volt}/\text{m}$) liegen.

Wie obige Abbildung zeigt, können in Einzelfällen sogar in drei Kilometer Entfernung im Freien noch Immissionen oberhalb der "neuen Salzburger Empfehlung" von $10 \mu\text{Watt}/\text{m}^2$ gemessen werden. Zur sicheren Einhaltung der Empfehlung, müssten die Mobilfunkanlagen also mindestens etwa zwei Kilometer von Wohngebieten entfernt aufgestellt werden.

Insgesamt gesehen wurde an 93 Prozent der 811 Messpunkte im Freien der Wert von $10 \mu\text{Watt}/\text{m}^2$ überschritten. Nur an 56 Punkten blieb der Messwert unter $10 \mu\text{Watt}/\text{m}^2$. Noch drastischer wird es, wenn man den neuen Indoorwert von $1 \mu\text{Watt}/\text{m}^2$ zu Grunde legt:

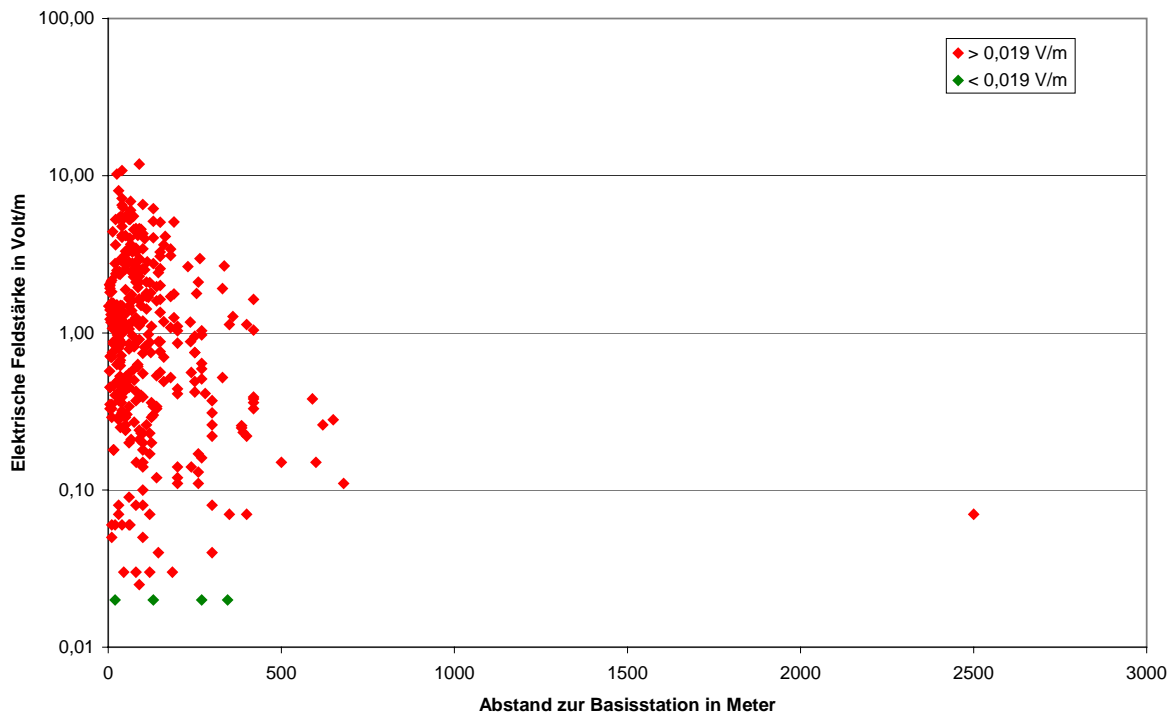


Abb. 5.19: Messwerte innerhalb von Gebäuden, die oberhalb der "neuen Salzburger Empfehlung" für Innenräume ($1 \mu\text{Watt}/\text{m}^2$ bzw. $0,019 \text{ Volt}/\text{m}$) liegen.

Es bleiben gerade einmal vier Messpunkte, die sich innerhalb von Gebäuden befinden und die den Wert von $1 \mu\text{Watt}/\text{m}^2$ ($0,019 \text{ Volt}/\text{m}$) nicht überschreiten. An den anderen 353 Messpunkten (d.h. an 99 Prozent) wird die neue Indoorrichtlinie nicht eingehalten.

Die sichere Einhaltung der "Salzburger Empfehlung" würde also voraussetzen, dass Mobilfunkanlagen ausschließlich weit außerhalb von Wohngebieten installiert werden, und zwar in einem Abstand von mindestens etwa 800 Meter (bei Anwendung des am meisten bekannten Grenzwertes von $1 \text{ Milliwatt}/\text{m}^2$). Bei Betrachtung der bereits erläuterten Randbedingungen der Funknetzplanung und den Gesetzmäßigkeiten der Wellenausbreitung erscheint es sehr zweifelhaft, insbesondere bei größeren Kommunen ein funktionierendes Mobilfunknetz nach den derzeit üblichen Qualitätsstandards (Indoorversorgung, Interferenzarmut, ausreichende Kapazität etc.) zu realisieren. Diese Meinung wird auch von den Netzbetreibern in Österreich [FMK 02] vertreten. Die österreichischen Betreiber stellen dabei fest, dass sie ihre Funknetze in Salzburg nicht auf Grundlage der "Salzburger Empfehlung" sondern konform zum österreichischen Bundesrecht aufgebaut haben. Auch sehr umfangreiche messtechnische Untersuchung, unterstützt durch ausführliche Immissionsberechnungen in Salzburg, durchgeführt im Auftrag der Eidgenössischen Kommunikationskommission (ComCom) dokumentieren, dass die "Salzburger Empfehlung" in Salzburg derzeit keineswegs eingehalten wird, sondern bei den Messungen Überschreitungen um bis zum 40-fachen des Wertes von $1 \text{ Milliwatt}/\text{m}^2$ auftraten. [COR 02].

Fazit: Überschreitungen der in der Öffentlichkeit häufig diskutierten "Salzburger Empfehlung" (1 Milliwatt/m²) können in Entfernungsbereichen von bis zu etwa 800 Meter zur Station auftreten. Es ist außerdem festzuhalten, dass in Salzburg derzeit kein Mobilfunknetz existiert, das unter Einhaltung der "Salzburger Empfehlung" funktioniert.

Basierend auf den in der Datenbank dokumentierten Messresultaten gibt folgende Tabelle an, ab welchen typischen Entfernungen hier behandelte verschärfte Grenzwerte bzw. Empfehlungen typischerweise mit hoher Wahrscheinlichkeit eingehalten werden:

Grenzwert / Empfehlung	Maximale elektrische Feldstärke	Maximale Leistungsflussdichte	Typische Entfernung, ab dem Grenzwert mit hoher Sicherheit eingehalten wird
Schweizer "Anlagegrenzwert"	4...6 Volt/m (anlagenabhängig)	0,042...0,095 W/m ² (anlagenabhängig)	100 Meter
ECOLOG-Empfehlung	1,94 Volt/m	0,01 W/m ²	300 Meter
Salzburger Empfehlung (alt)	0,61 Volt/m	1 mW/m ²	800 Meter
Salzburger Empfehlung (neu)	0,061 Volt/m	10 µW/m ²	2.500 Meter
	0,019 Volt/m	1 µW/m ²	> 2.500 Meter

Tab. 5.10: Ergebnis der Datenbankauswertung bezüglich verschärfter Grenzwerte bzw. Empfehlungen.

Obige Tabelle könnte beispielsweise im Bereich der Kommunalverwaltungen verwendet werden, da diesen häufig Fragen aus dem Kreis von betroffenen Bürgern bezüglich der Einhaltung der Schweizer "Anlagegrenzwerte" sowie der ECOLOG- bzw. Salzburger Empfehlung gestellt werden. Mittels der Tabelle ist immerhin ein Grenzradius um Mobilfunkstandorte definierbar, ab dem der entsprechende Richtwert sicher eingehalten wird. Im Bereich kürzerer Entfernungen ist dagegen keine eindeutige Aussage möglich. Für diese Zone müssten genauere Untersuchungen vorgenommen werden.

Ausdrücklich sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass mit den Untersuchungen in diesem Kapitel und insbesondere mit den Angaben in Tabelle 5.10 nicht beabsichtigt wird, den Kommunen Freihaltebereiche von vielen hundert Metern bis zu mehreren Kilometern um Mobilfunkanlagen zu empfehlen, sondern es soll damit verdeutlicht werden, dass insbesondere die Einhaltung der "Salzburger Empfehlung" zu praxisfremden Abständen führt und Behauptungen, dass bereits ein Verlagern eines Mobilfunkstandortes nur wenige 100 Meter aus einer bebauten Zone hinaus in den Außenbereich zu einer Einhaltung der "Salzburger Empfehlung" führt, in der Realität nicht haltbar sind.

5.4.2 Abhängigkeit der Immission von Sichtverbindung und Entfernung

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

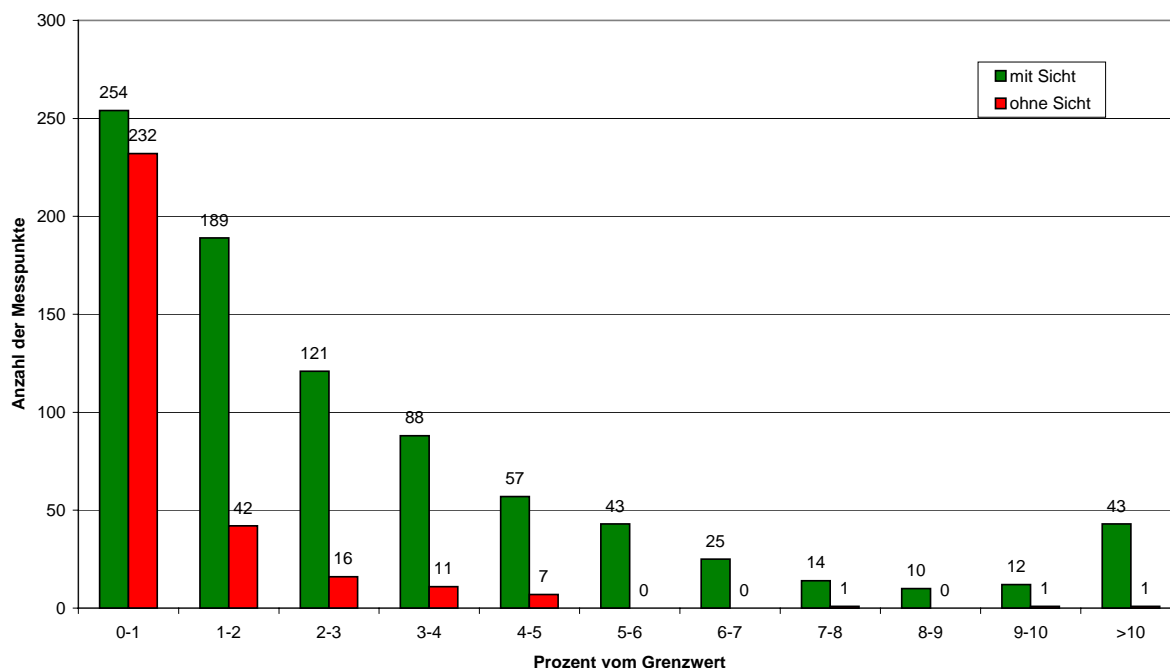


Abb. 5.20: Verteilung der Messergebnisse abhängig von der Sichtverbindung zur Antenne.

Offensichtlich treten bei Fehlen bzw. Beeinträchtigung der direkten Sicht zu den Antennen regelmäßig geringere Immissionswerte auf. Bei den hier dokumentierten Messpunkten ergab sich bei Sichtverbindung eine durchschnittliche Immission von 4,54 Prozent vom Grenzwert. Fehlte die Sichtverbindung, reduziert sich die durchschnittliche Immission um zirka den Faktor 2,8 (d.h. 9 dB) auf 1,62 Prozent vom Grenzwert. Bei fehlender Sicht ergaben sich nur drei "Ausreißer" mit Immissionswerten größer als 5 Prozent vom Grenzwert. Der absolut größte Messwert bei fehlender Sichtverbindung zu den Antennen betrug 12,26 Prozent vom Grenzwert.

Fazit: Eine fehlende Sichtverbindung führt in der Regel zu deutlich geringeren Immissionswerten, als sie bei vorhandener Sicht auftreten.

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Größe der am Messpunkt entstehenden Immission könnte die Entfernung zur Mobilfunkanlage sein. Für die folgende Auswertung wurde immer der

horizontale Abstand zum nächstgelegenen Mobilfunkstandort als Entfernungsmaß verwendet. In Abbildung 5.21 sind die Messergebnisse mit dem zugehörigen Entfernungswert dargestellt. Es wurden allerdings nur die Messpunkte für die Auswertung herangezogen, von denen aus Sichtverbindung zu einer Mobilfunkanlage herrscht, um eine "Verfälschung" der Entfernungsabhängigkeit durch die regelmäßig niedrigeren Immissionswerte bei fehlender Sicht zu verhindern.

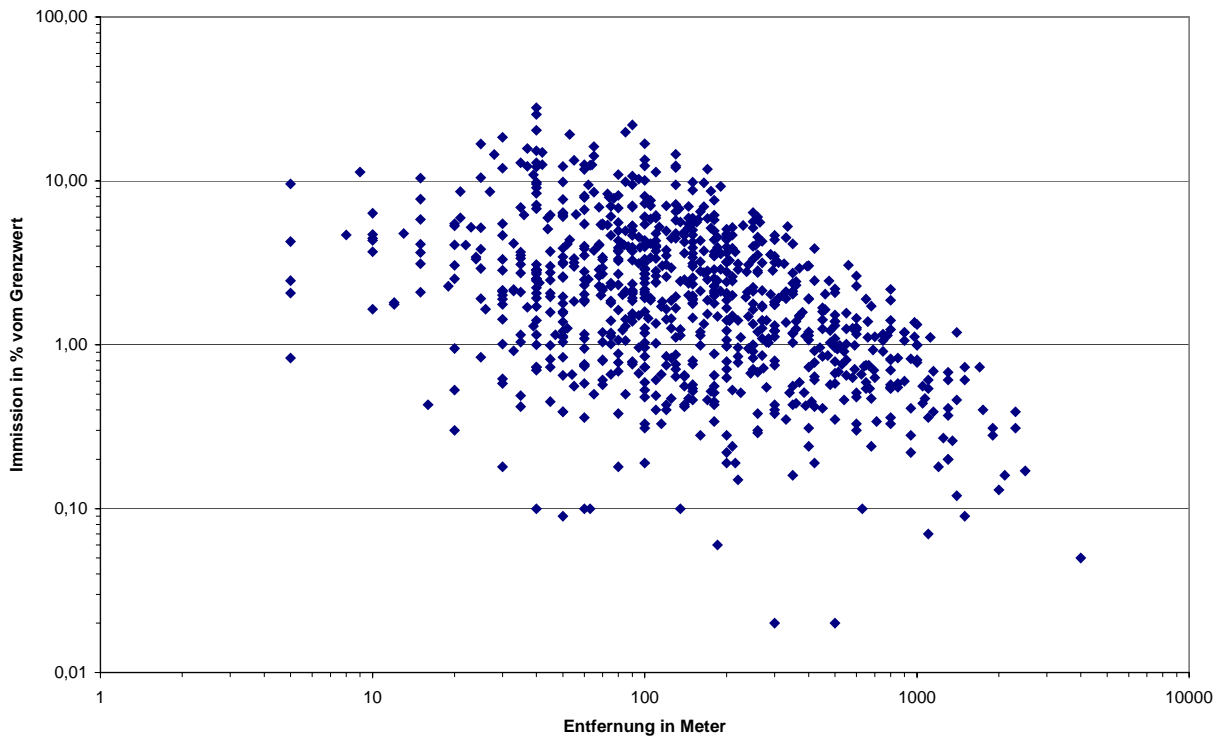


Abb. 5.21: Immission bei Sicht zur Mobilfunkanlage in Abhängigkeit von der Entfernung zum Antennenstandort.

Aufgrund der großen Häufung von Messwerten im Entfernungsbereich unter 500 Meter, lassen sich aus diesem Bild noch keine eindeutigen Schlüsse ziehen. Erkennbar ist jedoch auch schon in dieser Darstellung, dass mit zunehmender Entfernung der Streubereich der Messwerte offensichtlich etwas kleiner wird und erst ab etwa 200 Meter ein deutlicher Abnahmetrend bei den Immissionswerten feststellbar ist.

Um das Entfernungsverhalten im Bereich unter 500 Meter genauer analysieren zu können, wird in folgendem Bild nur dieser Entfernungsabschnitt dargestellt:

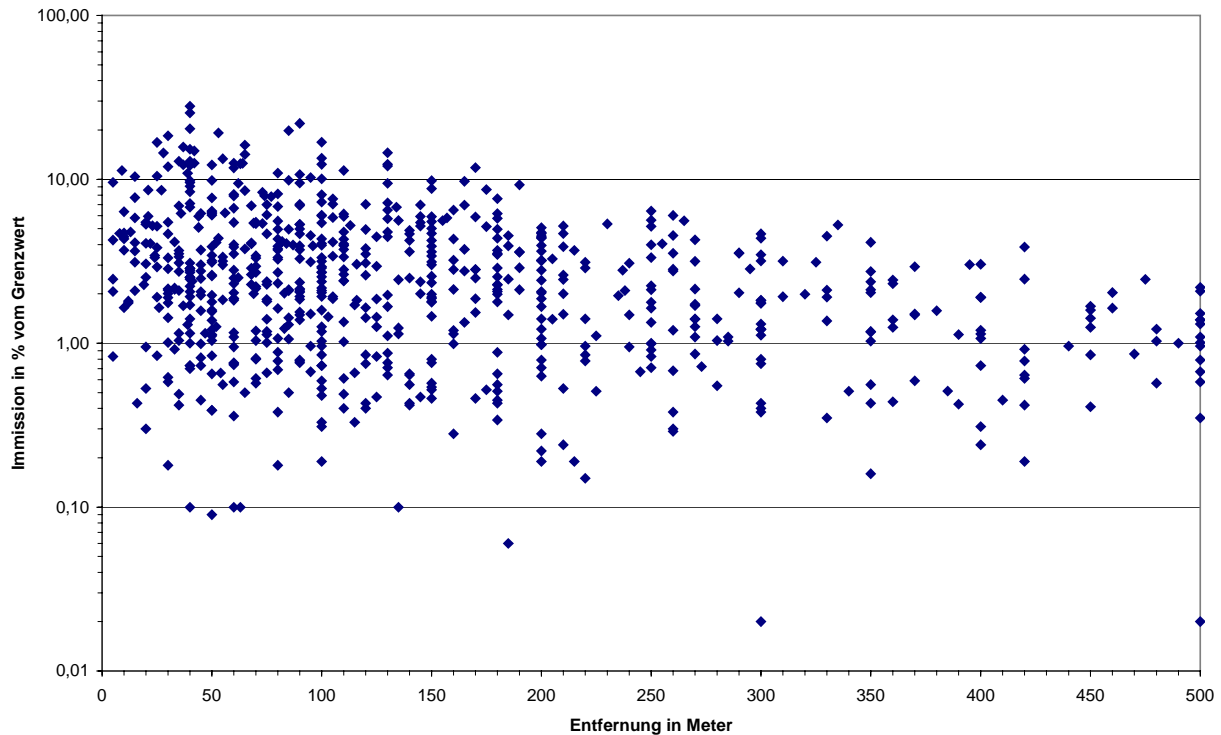


Abb. 5.22: Immission bei Sicht zur Mobilfunkanlage bei Entfernungen zum Antennenstandort von bis zu 500 Meter.

Insbesondere im Entfernungsbereich unter etwa 200 Meter zeigt sich eine maximale Streubreite der gemessenen Immission von etwa 40 dB, darüber hinaus ist eine leichte Abnahme der Streuung mit größer werdendem Abstand feststellbar.

Interessant ist auch die Tatsache, dass der ab etwa 200 Meter feststellbare leichte Abnahmetrend deutlich geringer ausfällt, als man ihn aufgrund der Wellenausbreitungsgesetzmäßigkeiten beim Mobilfunk gewöhnlich annimmt (Abnahme der Feldstärke im Freiraum mit $1/r$, also mit 20 dB pro Dekade; im realen Umfeld üblicherweise deutlich stärker, typisch 40 dB pro Dekade). Dieses Ergebnis stellt keinen Widerspruch zu den üblichen Modellen der Wellenausbreitung dar, sondern die mittlere Entfernungsabnahme ergibt sich hier als Mittelwert aus Messungen an verschiedenartigsten Anlagestandorten mit unterschiedlichen technischen Daten, Umgebungsbedingungen und topographischen Einflüssen.

Abbildung 5.22 untermauert aufgrund der großen Punkteanzahl sehr eindrucksvoll die bereits in den Untersuchungen des Institutes für Mobil- und Satellitenfunktechnik [BOR 04] festgestellte Tatsache, dass im Nahbereich um eine Mobilfunkanlage offensichtlich keine eindeutige Gesetzmäßigkeit bezüglich einer Entfernungsabhängigkeit der Immission festgelegt werden kann. In allen Entfernungen sind offensichtlich sowohl größere als auch geringere Immissionswerte möglich. Noch deutlicher wird dieses Ergebnis, wenn man Entfernungsklassen bildet.

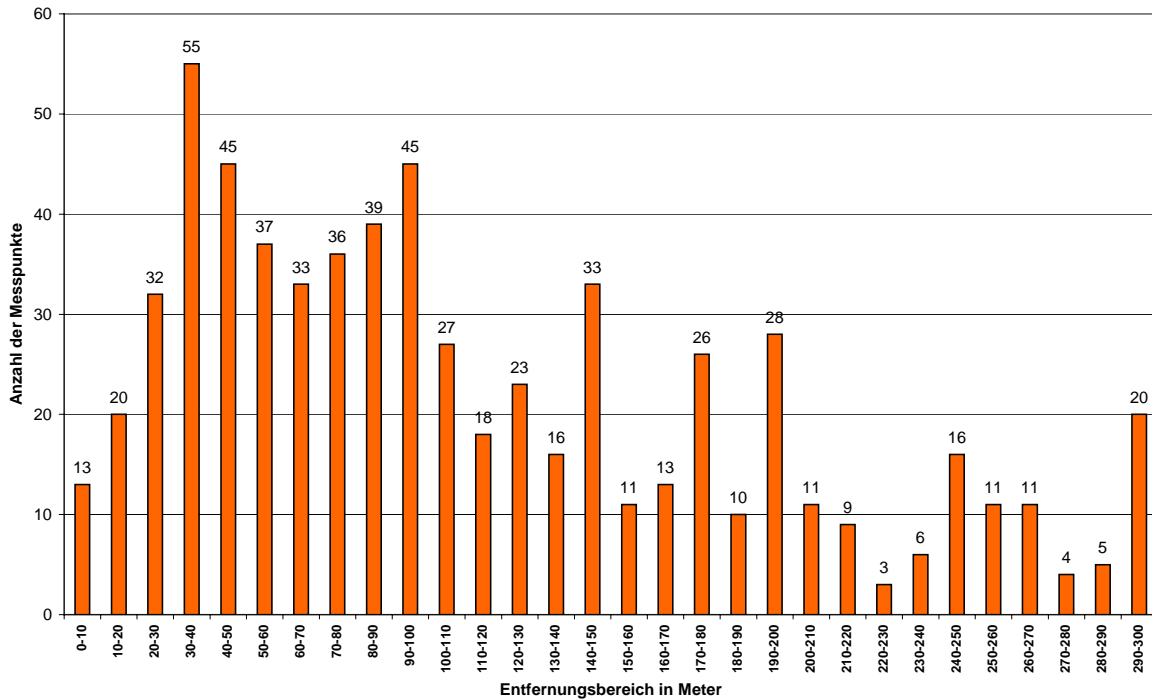


Abb. 5.23: 30 Entfernungsklassen im Bereich bis 300 Meter: Zahl der Messpunkte pro Klasse.

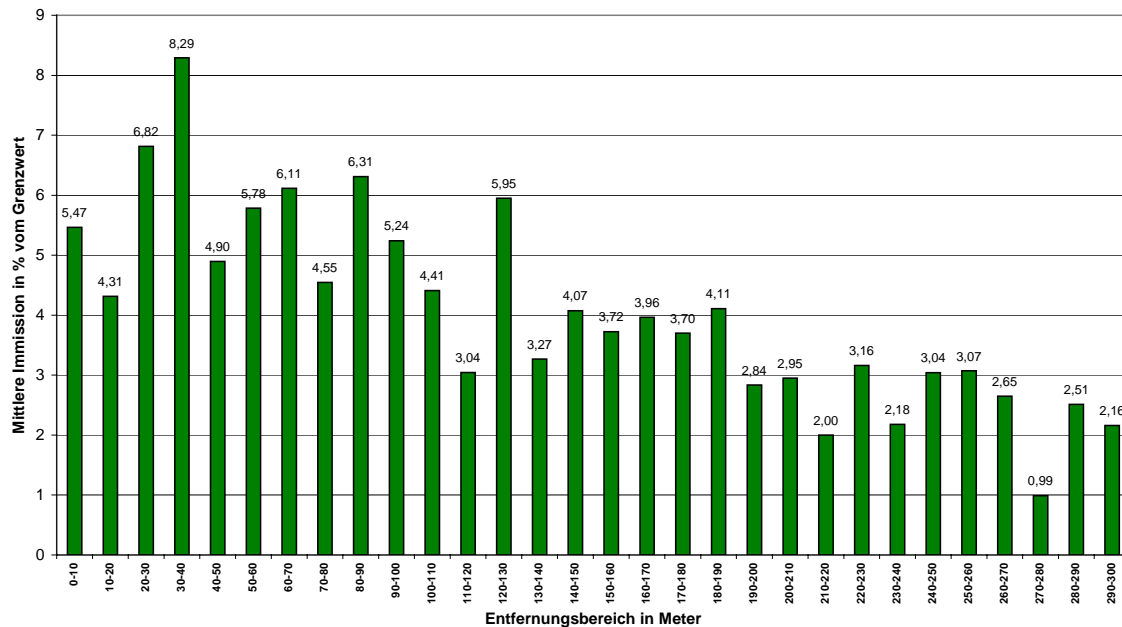


Abb. 5.24: Immission bei Sicht zur Mobilfunkanlage: Entfernungen zum Antennenstandort von bis zu 300 Meter bei Bildung von Entfernungsklassen.

Offensichtlich treten größere Messwerte typischerweise nicht unbedingt an den Orten mit geringster Entfernung zu den Mobilfunkantennen sondern auch noch in größeren Abständen auf. Dies lässt sich folgendermaßen begründen:

- Im Nahbereich wirkt sich die vertikale Winkeldämpfung der Antennen in vielen Fällen deutlich vermindern auf die entstehende Immission aus ("Nahbereichsschatten").
- Die größten Immissionen treten regelmäßig an den Punkten auf, die von der Hauptkeule der Antennen befeldet werden. Derartige Punkte können durchaus 50 bis 100 Meter vom Anlagenstandort entfernt sein.
- Erst ab einer Entfernung von etwa 150 Meter vom Anlagenstandort ergeben sich mittlere Immissionswerte, die regelmäßig geringer ausfallen als im Bereich bis 150 Meter.

Fazit: Im Entfernungsbereich von einigen hundert Meter um eine Mobilfunkstation ist also der Horizontalabstand zur Antenne allein eine wenig geeignete Größe zur Quantifizierung der am Messpunkt entstehenden Immission.

5.4.3 Abhängigkeit der Immission von der Zahl der installierten Systeme

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

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

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

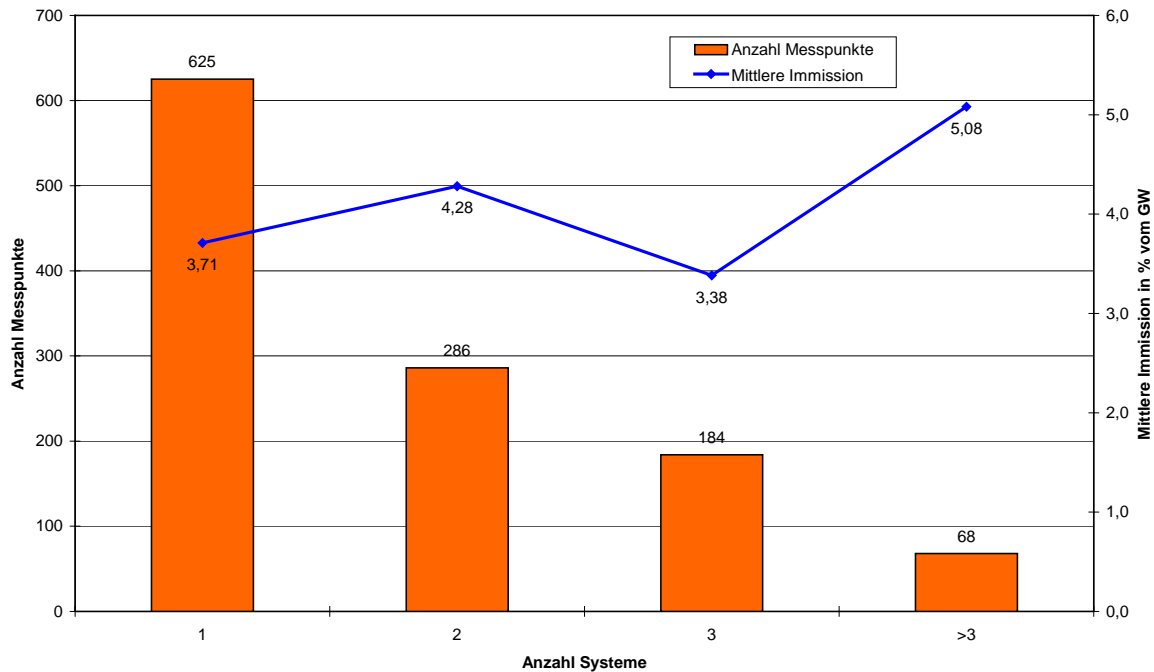


Abb. 5.25: Immissionen im Vergleich zur Ausstattung des verursachenden Standortes.

Aus Abbildung 5.25 wird deutlich, dass auch die Anzahl der installierten Systeme kein zuverlässiges Kriterium zur Abschätzung der in der Umgebung entstehenden Immission darstellt. Es ist kein eindeutiger Trend in die Richtung erkennbar, dass bei Messpunkten mit mehr Funkanlagen im Umfeld auch höhere Immissionswerte festgestellt werden können. An den Messpunkten mit nur einem System ergaben sich beispielsweise höhere mittlere Immissionen als bei den Punkten mit drei Systemen im Umfeld.

Die festgestellte Zunahme der mittleren Immission für die Systemzahl größer drei, darf nicht überbewertet werden, da es sich zum einen nur um vergleichsweise wenige Messpunkte handelt und in dieser Klasse Standorte mit vier bis sechs Systemen zusammengefasst sind, was natürlich eine gewisse Ergebnisverzerrung bewirkt. Für eine Aufteilung der Messpunkte mit vier bis sechs System in einzelne Klassen ist die Messpunktzahl zu gering, um noch belastbare Mittelwerte zu erhalten.

Eine Begründung für die insgesamt nicht proportionale Zunahme könnte beispielsweise die Tatsache sein, dass mehrfach genutzte Standorte schon aus baustatischen Gründen häufiger auf hohen Gebäuden oder Masten zu finden sind, während Standorte mit nur einem System ohne Probleme auch auf niedrigeren, weniger tragfähigen Gebäudedächern installiert werden können.

Fazit: Die Anzahl der in der Umgebung des Messpunktes vorhandenen Anlagen ist für sich allein betrachtet eine wenig geeignete Größe zur Quantifizierung der am Messpunkt entstehenden Immissionen. Offensichtlich haben andere Para-

meter einen deutlich größeren Einfluss auf die Größe der generierten Felder, als die Zahl der installierten Systeme.

5.4.4 Abhängigkeit der Immission von der Stockwerkshöhe

Im folgenden soll die Abhängigkeit der Immission von der Höhe des Messpunktes über Grund näher untersucht werden. Dies ist möglich, da in der Datenbank der Parameter "Messpunkthöhe" zumindest grob durch die Angabe des Stockwerkes, in dem gemessen wurde, dokumentiert ist. Um den störenden Einfluss einer vorhandenen oder nicht vorhandenen Sichtverbindung zu den Antennen zu eliminieren, wurden für die folgende Auswertung wieder nur Punkte mit Sichtverbindung zur Mobilfunkanlage herangezogen.

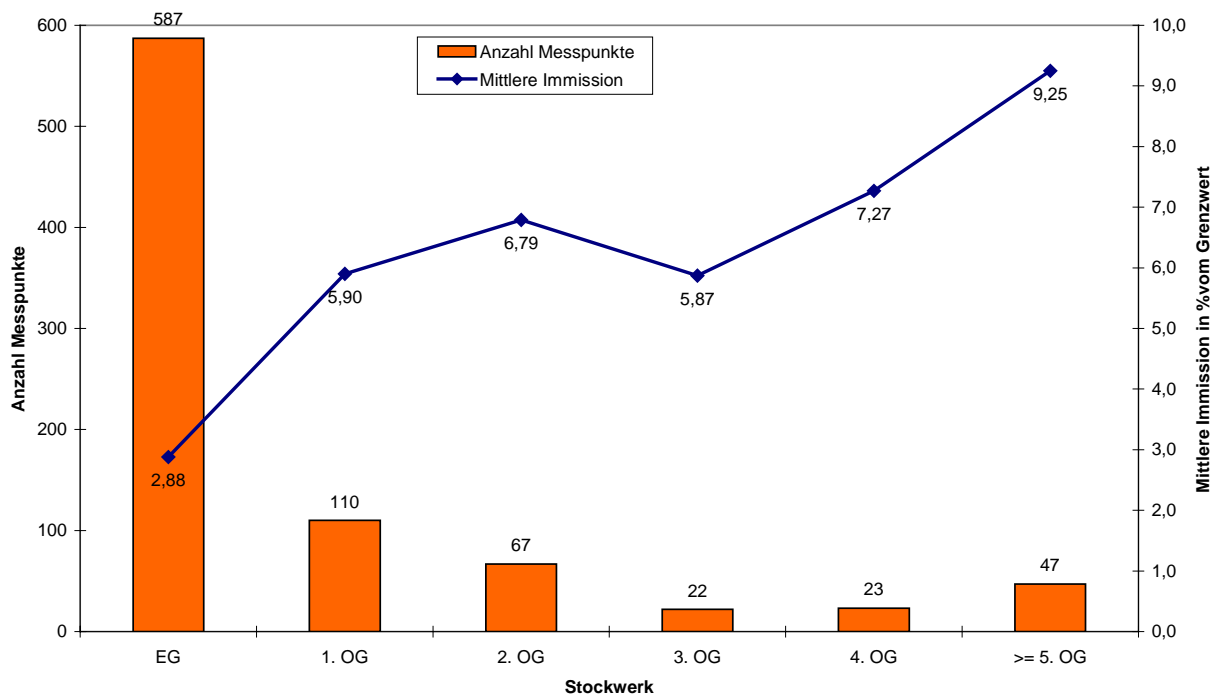


Abb. 5.26: Immissionen in Abhängigkeit von der Höhe des Stockwerkes bei Sichtverbindung.

Es ist also ein Trend zu höheren Immissionen an den Messpunkten in höheren Stockwerken zu erkennen (Unterschiedsfaktor zwischen EG und 4. OG etwa 2,5, d.h. 4 dB).

Fazit: Messungen in Bodennähe liefern regelmäßig im Mittel niedrigere Feldstärkewerte als sie in größeren Höhen auftreten.

5.4.5 Abhängigkeit der Immission vom Vertikalwinkel

Die im vorhergehenden Kapitel durchgeführte Stockwerksanalyse soll nun verfeinert werden. Statt einer ausschließlichen Betrachtung der Stockwerkshöhe wird hier der Einfluss des Vertikalwinkels auf die Größe der Immission näher untersucht. Aus den in der Datenbank abgelegten Messpunktdaten (Grobe Messpunkthöhe aus der Stockwerksangabe) unter zusätzlicher Berücksichtigung topographischer Informationen (Höhenunterschied zwischen der Bodenhöhe des Messortes und des Antennenstandortes über N.N.) sowie der Einbeziehung der Montagehöhen der Mobilfunkantennen (Standortbescheinigung) konnte für insgesamt 856 Punkte ein grober Vertikalwinkel ermittelt werden, unter dem der Messpunkt vom Antennenstandort aus gesehen erscheint. In der Regel lagen die Messpunkte tiefer als der Antennenstandort, nur 22 Punkte lagen höher. Um wiederum den verzerrenden Einfluss einer fehlenden Sichtverbindung zu eliminieren, wurde die folgende Auswertung nur für Messpunkte mit Sicht zum Antennenstandort vorgenommen. Folgende Abbildung zeigt zunächst die grundsätzliche Größenverteilung der Messwerte in Abhängigkeit vom Vertikalwinkel:

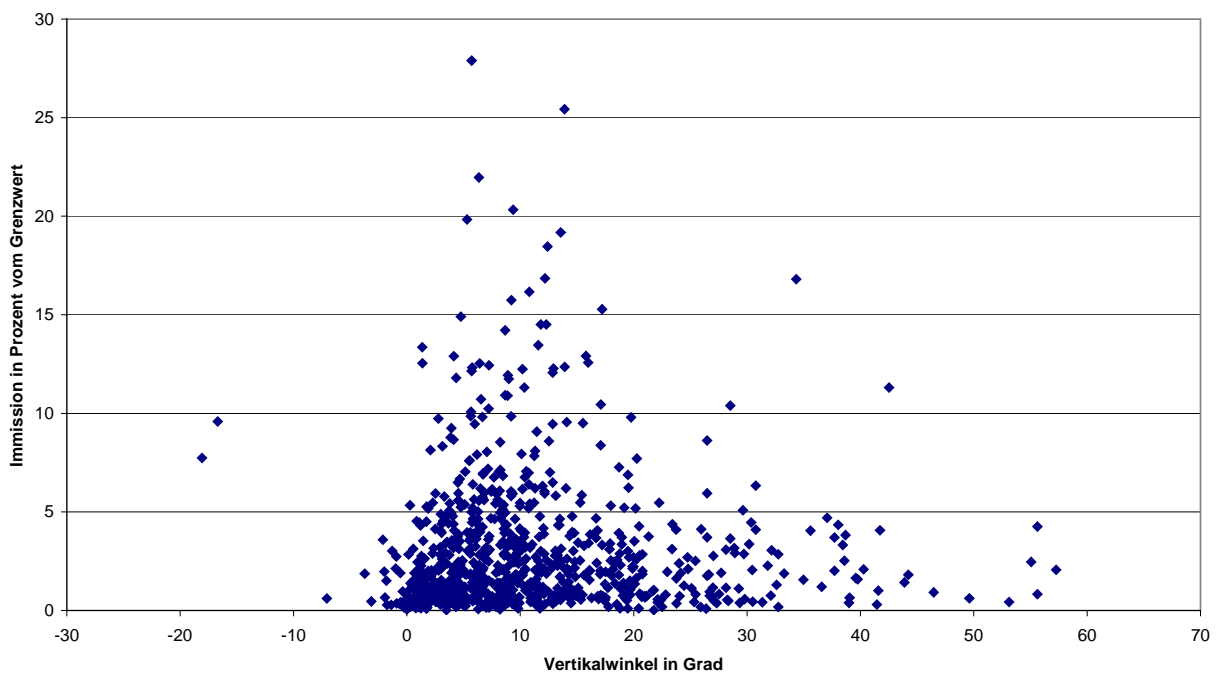


Abb. 5.27: Immission in Abhängigkeit vom Vertikalwinkel zwischen Messpunkt und Antenne (Negative Vertikalwinkel: Messpunkt liegt höher als die Mobilfunkantenne).

Es ist erkennbar, dass die überdurchschnittlich hohen Messwerte am häufigsten an Messpunkten mit Vertikalwinkel zwischen 0 und 15 Grad auftreten. Deutlicher wird dieser Trend, wenn man Winkelklassen bildet und die mittlere Immission für die einzelnen Klassen errechnet:

Winkelbereich (nach unten positiv gezählt)	Zahl der Messpunkte	Mittlere Immission in Prozent vom Grenzwert	Mittlere Entfernung zum Anlagenstandort
$\alpha < -4^\circ$	3	7,12 %	43 m
$-4^\circ \leq \alpha < 0^\circ$	19	1,62 %	681 m
$0^\circ \leq \alpha < 4^\circ$	237	3,32 %	526 m
$5^\circ \leq \alpha < 9^\circ$	246	5,30 %	225 m
$10^\circ \leq \alpha < 14^\circ$	149	5,81 %	119 m
$15^\circ \leq \alpha < 19^\circ$	83	4,27 %	83 m
$20^\circ \leq \alpha < 24^\circ$	42	2,63 %	71 m
$25^\circ \leq \alpha < 29^\circ$	34	3,25 %	45 m
$\alpha \geq 29^\circ$	43	4,05 %	27 m

Tab. 5.11: Immission in Abhängigkeit vom Vertikalwinkel zwischen Messpunkt und Antenne.

Folgende Abbildung stellt die Ergebnisse aus Tabelle 5.11 graphisch dar, wobei auf die Winkelklasse $\leq -4^\circ$ verzichtet wurde, da diese nur aus drei Messpunkten besteht.

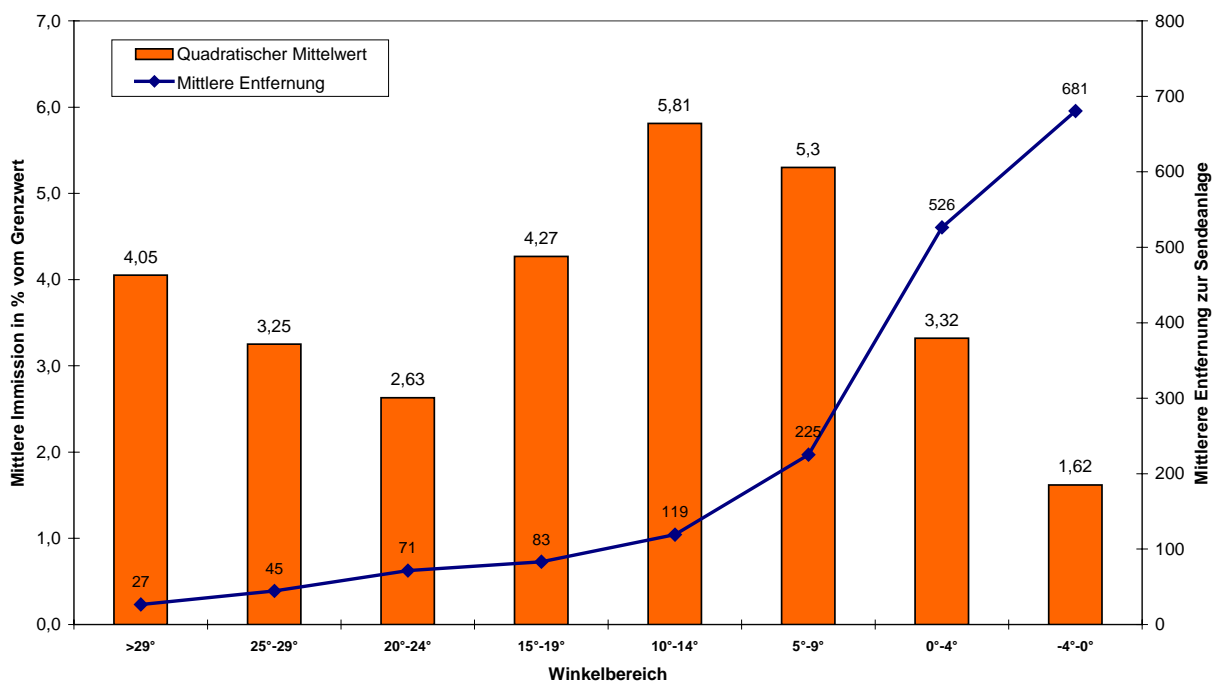


Abb. 5.28: Mittlere Immission in Abhängigkeit vom Vertikalwinkel zwischen Messpunkt und Antenne (Negative Winkel: Messpunkt liegt höher als die Antenne).

Es ist eine deutliche Tendenz zu abnehmender Immission bei steilen Vertikalwinkeln festzustellen. Bei sehr steilen Vertikalwinkeln ergibt sich allerdings der Effekt, dass der Messpunkt dann häufig eine sehr geringe Horizontalentfernung zu den Mobilfunkantennen besitzt. Daher wird der Trend zu immer geringerer mittlerer Immission bei sehr steilem Vertikalwinkel nicht weiter fortgesetzt. Die mittlere Entfernung dieser Punkte betrug bei Vertikalwinkeln über 25° etwa 35 Meter, während die Messpunkte mit Vertikalwinkeln zwischen 0° und 10° hingegen durchschnittlich etwa 373 Meter vom Messpunkt entfernt waren. Insbesondere bei Vertikalwinkeln zwischen 0° und 4° ergibt sich wegen dem großen durchschnittlichen Abstand von 526 Meter ein Rückgang der mittleren Immission. Der Winkelbereich mit den größten mittleren Immissionen liegt also etwa zwischen 5 und 20° .

Fazit: Der Vertikalwinkel, unter dem der Messpunkt von der Antenne der Anlage aus gesehen erscheint, kann eher als Bewertungsgröße für die entstehenden Immissionen herangezogen werden als die anderen bisher untersuchten Parameter. Wie insbesondere aus Tabelle 5.11 ersichtlich wird, ergeben sich im hier betrachteten Entfernungsbereich bei Orten, die bezüglich der Antenne unter einem flachen Winkel erscheinen (das heißt, der Höhenunterschied zwischen Messpunkt und Antenne ist wesentlich kleiner als die Entfernung zwischen beiden), im Mittel größere Immissionen als an Orten mit großem Vertikalwinkel bezüglich der Antennen.

5.5 Schlussfolgerungen

Die Auswertung der sehr umfangreichen Immissionsdatenbank liefert eine ganze Reihe von Erkenntnissen über Immissionen im Umfeld von Mobilfunksendeanlagen, die teilweise auch in Überlegungen zur Immissionsminimierung einfließen können. Insbesondere die folgenden Punkte können festgehalten werden:

- Es wurde eine relativ große Spannweite der Messwerte festgestellt, der Unterschiedsfaktor zwischen der größter und der kleinsten gemessener Feldstärke betrug etwa 9300 (ca. 80 dB).
- Die Grenzwerte der 26. BImSchV wurden an allen Messpunkten deutlich unterschritten. Der größte gemessene Immissionswert betrug etwa 28 Prozent vom Grenzwert. Im Mittel ergab sich eine Immission von 3,87 % vom Grenzwert (Quadratische Mittelwertbildung). Der Medianwert betrug 1,2 Prozent vom Grenzwert.
- Bei fehlender Sicht zur Mobilfunkanlage ergab sich im Mittel eine um etwa den Faktor drei (d.h. etwa 9 dB) geringere Immission als bei vorhandener Sicht.
- Im städtischen Umfeld konnten im Durchschnitt um etwa den Faktor 2 (d.h. 6 dB) höhere Immissionen gemessen werden als im ländlichen Bereich.
- Die Immissionen, verursacht von GSM- bzw. UMTS-Anlagen liegen etwa in der gleichen Größenordnung.

- Bewertet man die gefundenen Immissionen mit den in der Schweiz verbindlichen Rechtsvorschriften, so ergibt sich dass diese an über 99 Prozent der Messpunkte eingehalten werden.
- Über die Vorgaben der Schweiz hinausgehende Empfehlungen (ECOLOG-Empfehlung; "Salzburger Empfehlung") können teilweise noch in vielen hundert Meter Entfernung vom Anlagenstandort überschritten werden. Insbesondere die "Salzburger Empfehlung" führt zu Freihaltbereichen, die mit der Struktur und den technischen Möglichkeiten der derzeitigen Mobilfunksysteme unter Beibehaltung der heute üblichen Versorgungsqualität wohl nicht vereinbar sind.
- Die Entfernung zwischen Messort und Anlagenstandort ist im Nahbereich eines Mobilfunksenders (bis zu einigen hundert Meter Entfernung) als Größe zur Quantifizierung der entstehenden Immission wenig geeignet.
- Auch die Zahl der in der Umgebung des Messpunktes vorhandenen Anlagen für sich allein betrachtet, ist eine wenig geeignete Größe zur Quantifizierung der am Messpunkt entstehenden Immission.
- Dagegen kann der Vertikalwinkel, unter dem der Messpunkt von der Antenne der Anlage aus gesehen erscheint, eher als Bewertungsgröße für die entstehenden Immissionen herangezogen werden. Es ergeben sich im hier betrachteten Entfernungsbereich bei Orten, die bezüglich der Antenne unter einem flachen Winkel erscheinen (das heißt, der Höhenunterschied zwischen Messpunkt und Antenne ist wesentlich kleiner als die Entfernung zwischen beiden), im Mittel größere Immissionen als an Orten mit großem Vertikalwinkel bezüglich der Antennen.