

III. Expositionserhebung

**Bearbeitungszeitraum
11. April 2005 – 31. März 2006**

III.1 Einleitung

Im Kapitel „Expositionserhebung“ des Forschungsvorhabens „Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk- und Fernsehsendern“ erfolgt zum einen eine messtechnische Erhebung der Immissionen durch analoge und digitale Ton- und Fernseh Rundfunksender. Die Messungen für die Expositionserhebung wurden in den Startregionen von DVB-T in Nord- bzw. Südbayern durchgeführt. Durch eine Messung vor der Umstellung (nur Analogbetrieb) und nach der Umstellung (nur Digitalbetrieb) ist eine direkte Vergleichbarkeit der Immissionssituation gewährleistet. Die Vergleichsmessungen an ein und derselben Region haben zudem den Vorteil, dass die Ergebnisse nicht durch topographische oder morphographische Unterschiede verfälscht werden.

Darüber hinaus werden die messtechnisch erhobenen Immissionen auch mit entsprechenden Berechnungen verglichen. Hierbei wird das aus Abschnitt II.2.2 schon bekannte Programm FPT eingesetzt. Durch einen Vergleich der Messungen mit den Berechnungen kann die Eignung der Software zur Ermittlung der Immissionen durch digitale und analoge Rundfunksender überprüft werden. In diesem Zusammenhang sind zwei Betrachtungsarten möglich: Zum einen ist die Frage zu klären, wie *genau* das Programm die Immissionen prognostiziert. Hierzu kann die betragsmäßige mittlere Abweichung zwischen Berechnung und Messung als Kriterium herangezogen werden. Zum zweiten wird überprüft, in wie weit das Berechnungsverfahren als Worst Case Methode geeignet ist. Hierunter ist zu verstehen, dass die berechneten Werte an allen Vergleichspunkten möglichst oberhalb der gemessenen Immissionen liegen. Als Beurteilungskriterium wird hierzu der prozentuale Anteil der Punkte herangezogen, an denen diese Situation vorlag.

Für die Wahl der Messpunkte wurde eine Messkampagne des Bayerischen Landesamtes für Umwelt herangezogen [BER 04]. Deren statistisch unabhängige Messpunkte wurden unter großer Sorgfalt und Berücksichtigung verschiedenster Parameter wie z.B. die Bevölkerungsdichte rein zufällig ermittelt. Das Bayerische Landesamt für Umwelt stellte uns freundlicherweise Koordinaten und Fotos der Messpunkte zur Verfügung. In den folgenden zwei Bildern sind die Messpunkte aufgeteilt in die Startregionen Nordbayern und Südbayern zu sehen.

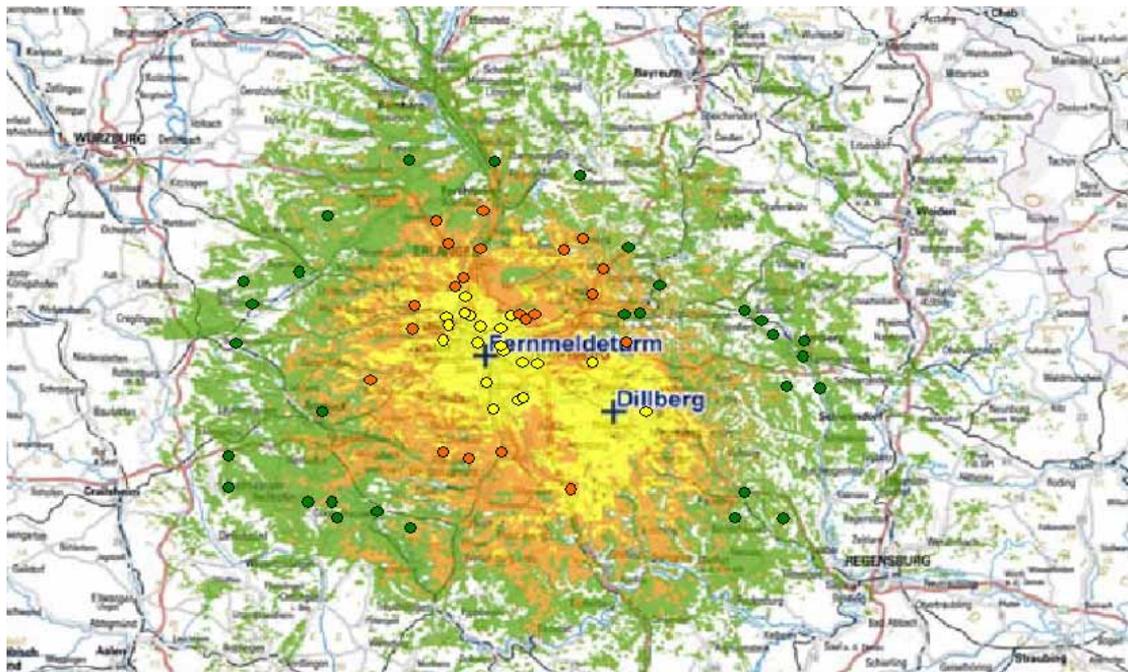


Bild III.1.1: Messpunktverteilung für die Region Nordbayern, farblich nach der jeweiligen Versorgungsklasse markiert
 Gelb: "portable indoor" (Empfang mit kleiner Zimmerantenne möglich)
 Orange: "portable outdoor" (Empfang mit kleiner Stabantenne außerhalb von Gebäuden möglich)
 Grün: "fixed antenna" (Empfang mit Richtantenne auf dem Dach möglich)



Bild III.1.2: Messpunktverteilung für die Region Südbayern, farblich nach der jeweiligen Versorgungsklasse markiert
 Gelb: "portable indoor" (Empfang mit kleiner Zimmerantenne möglich)
 Orange: "portable outdoor" (Empfang mit kleiner Stabantenne außerhalb von Gebäuden möglich)
 Grün: "fixed antenna" (Empfang mit Richtantenne auf dem Dach möglich)

Aus der Messkampagne des Bayerischen Landesamtes für Umwelt standen 181 Punkte zur Verfügung. Für dieses Projekt war jedoch eine Anzahl von 200 Messpunkten für den "Vorher-Nachher"-Vergleich vorgesehen. Um diese Zahl zu erreichen, mussten also noch 19 weitere Punkte gewonnen werden. Hierfür wurden drei Punkte aus den ebenfalls durchgeführten Gebäudemessungen verwendet (jeweils der Messpunkt, der vor dem Gebäude im Freien untersucht wurde). Außerdem standen noch insgesamt 45 Punkte aus drei "Strahlenmessungen" (siehe Abschnitt III.4.5.2 und Abschnitt III.4.5.3) zur Verfügung, aus denen die verbleibenden 16 per Losverfahren ausgewählt wurden. Somit ergab sich folgende Aufteilung der 200 Messpunkte:

Region	Punkte aus LfU-Kampagne	Punkte aus Gebäudemessungen	Punkte aus Linienmessungen
München	106	2	5
Nürnberg	75	1	11
Total	181	3	16

Tabelle III.1.1: Herkunft und Aufteilung der 200 Messpunkte

An 185 der 200 Messpunkte herrschte keine Sichtverbindung zu einem der Senderstandorte, nur an 15 Messpunkten war die Sicht gegeben. Betrachtet man die Verteilung auf die drei DVB-T-Versorgungsklassen, so ergibt sich folgendes Bild:

Region	"portable indoor"	"portable outdoor"	"fixed antenna"
München	40	16	31
Nürnberg	74	26	13
Total	114	42	44

Tabelle III.1.2: Aufteilung der 200 Messpunkte auf die drei DVB-T-Versorgungsklassen

Die Mehrzahl der Messpunkte befindet sich also in relativ geringer Entfernung zu den Senderstandorten, so dass die Regionen mit der vermutlich höchsten mittleren Immission besonders intensiv untersucht wurden. Es ergeben sich folgende mittlere Entfernungen zum nächsten DVB-T-Senderstandort:

Region	"portable indoor"	"portable outdoor"	"fixed antenna"
München	12,1 km	30,2 km	55,5 km
Nürnberg	7,2 km	23,8 km	38,3 km
Total	10,4 km	27,7 km	43,4 km

Tabelle III.1.3: Mittlere Entfernung zum nächsten DVB-T-Senderstandort für die drei Versorgungsklassen

Folgende Tabelle gibt abschließend einen Überblick über die Siedlungsstruktur in der Umgebung der Messpunkte:

Region	Innenstadt	Vorstadt / Kleinstadt	Dorf, Weiler
München	5	33	49
Nürnberg	25	58	30
Total	30	91	79

Tabelle III.1.4: Klassifizierung der 200 Messpunkte bezüglich der Siedlungsstruktur

Wie oben bereits kurz erwähnt, wurden zusätzlich zu den Untersuchungen an den "Zufallsmesspunkten" noch folgende systematische Messungen durchgeführt:

- Messung der Höhenabhängigkeit der Immission in 4 Hochhäusern (insgesamt 80 Messpunkte),
- Systematische "Linienmessungen" auf drei verschiedenen Strecken in der Umgebung der Senderstandorte Nürnberg, Dillberg und Wendelstein (insgesamt 47 Messpunkte).

Somit wurden im Rahmen dieses Projektes an über *300 Messpunkten* "Vorher-Nachher"-Untersuchungen durchgeführt.

III.2 Ergebnisse der vergleichenden Feldstärkemessungen

III.2.1 Messgeräte, Messdurchführung

Basierend auf den Ergebnissen der Untersuchungen zu geeigneten Messverfahren (Abschnitt II.4 dieses Berichtes), wurde für die Messung eine geeignete Ausrüstung zusammengestellt und ein definierter Verfahrensablauf festgelegt. Ausführliche Erläuterungen dazu finden sich in den Abschnitten II.4.4 und II.4.5.

Im Detail wurden folgende Messmittel vor Ort eingesetzt:

Messmittel	Typ	Hersteller	Seriennummer	Letzte Kalibrierung
Feldanalysator	SRM-3000	Narda STS	E-0042	03/2005
Bikonische Messantenne	UBA 9116	Schwarzbeck	384	04/2003
LogPer Messantenne	ULSP 9142	Schwarzbeck	112	04/2003
LogPer Messantenne	ULSP 9142	Schwarzbeck	102	01/2004
1,5 m Koaxialleitung	RF-cable SRM	Narda STS	E-0012	02/2005

Tabelle III.2.1: Eingesetzte Messmittel

Durchgeführt wurden die "Vorhermessungen" in den Monaten April und Mai 2005. Die "Nachhermessungen" wurden nach Beendigung des Simulcastbetriebs im Oktober 2005 vorgenommen. In beiden Messzeiträumen war also ein vergleichbarer Vegetationszustand (Belaubung) vorhanden, so dass der jahreszeitliche Einfluss auf die Messresultate minimiert ist.



Bild III.2.1: Typischer Messpunkt in einem Wohngebiet

III.2.2 Problematik des Vergleichs der Ergebnisse zweier Messkampagnen

Ziel der vergleichenden Messungen war es, einen Eindruck über die Veränderung der Exposition der Bevölkerung durch Rundfunksignale zu gewinnen, der durch die Einführung von DVB-T bedingt ist. Während der Durchführung der Messkampagne bzw. im Rahmen der Auswertung der Messergebnisse zeigten sich jedoch auch einige Effekte, die bei der Bewertung der gefundenen Immissionswerte unbedingt beachtet werden müssen, da sonst aus den Messresultaten falsche oder unzulässige Schlüsse gezogen werden könnten:

- Selbst die relativ große Anzahl von 200 zufällig ausgewählten "Vorher-Nachher"-Messpunkten in Wohngebieten stellt nicht zwingend sicher, dass damit eine völlig erschöpfende Aussage über die Exposition der Bevölkerung möglich wird. Beispielsweise befanden sich alle Messpunkte in Bodennähe. Aussagen über die mittleren Immissionen in höheren Stockwerken können daraus nur näherungsweise abgeleitet werden (Um diese Problematik etwas mehr in Griff zu bekommen, wurden allerdings zusätzlich Messungen in vier Hochhäusern durchgeführt). Auch die Frage nach der absolut höchsten Exposition kann durch Auswertung der 200 Messpunkte nicht abschließend beantwortet werden. Es darf nicht vergessen werden, dass die Auswahl der Messpunkte nach einem Zufallsprinzip erfolgte und daher nicht sichergestellt ist, dass auch an den Punkten mit höchster Immission in der Umgebung der Senderstandorte gemessen wurde. Um nähere Informationen über die maximale Exposition zu erhalten, wurden zusätzlich Messungen an Punkten in unmittelbarer Nähe des Standortes durchgeführt ("Linienmessungen"). Außerdem wurden zwei Gebäude untersucht, die weniger als zwei Kilometer von einer Sendeanlage (Olympiaturm) entfernt sind.
- Insbesondere der arithmetische Mittelwert der Leistungsflussdichtewerte über alle Messpunkte erweist sich als sehr unsichere Größe zur Beurteilung der "mittleren Immissionsituation". Wie später noch gezeigt wird, können sich bei Verwendung dieses Wertes als Beurteilungsgröße für den "Vorher-Nachher"-Vergleich deutliche Fehlinterpretationen ergeben. Es zeigt sich, dass andere statistische Kennwerte der Immissionsverteilung für die Beurteilung der "mittleren Immission" deutlich besser geeignet sind.
- Die begrenzte Wiederholbarkeit von Feldstärkemessungen limitiert auch die Aussagekraft von "Vorher-Nachher"-Messungen. Allein schon durch veränderte Umweltbedingungen (Niederschlag, Jahreszeit, Luftfeuchtigkeit etc.) wird eine zweite Messung am selben Messpunkt (durchgeführt auf gleiche Weise vom gleichen Personal mit der gleichen Ausrüstung) immer etwas andere Resultate liefern, auch wenn die felderzeugende Anlage in ihren Eigenschaften nicht verändert wurde. Daher sollte man bei derartigen "Vorher-Nachher"-Vergleichen die Immissionsveränderung nicht für einzelne Punkte isoliert betrachten, sondern das Augenmerk auf die mittlere Veränderung über die Gesamtheit der Punkte legen. Um einen Eindruck über die Wiederholbarkeit derartiger Messungen zu gewinnen, wurden die Felder der UKW-Sender (die ja von der DVB-T-Umstellung nicht betroffen sind) sowohl bei der "Vorher-" als auch bei der "Nachhermessung" erfasst. Ein Vergleich der Resultate gibt Aufschluss über die maximal erreichbare Reproduzierbarkeit und zeigt eventuell Ursachen für erhöhte Differenzen auf. Auf die Ergebnisse dieser Vergleichsmessung wird noch im Detail eingegangen.

- Auch zeigt sich, dass ein "sturer" Vergleich der HF-Immission vor und nach der DVB-T-Umstellung wenig aussagekräftige Ergebnisse liefert. Ein derartiger Vergleich gibt nur Auskunft, wie sich die Exposition an den explizit betrachteten Punkten verändert hat. Zusätzlich sind zwar daraus auch einige Schlussfolgerungen bezüglich der Veränderungen innerhalb der Gesamtfläche, auf der sich die Punkte befinden (also die Regionen München bzw. Nürnberg) möglich. Eine Aussage, ob die Technologie "DVB-T" grundsätzlich günstiger oder ungünstiger bezüglich der Immission anzusehen ist, kann aus dem reinen Messwertvergleich nicht ohne weiteres gewonnen werden. An dieser Stelle sei beispielsweise erwähnt, dass mit der Umstellung auf DVB-T, die beiden analogen Grundnetzsender auf dem Sendeturm "Schwabach-Heidenberg" abgeschaltet wurden und dafür DVB-T-Sender am Nürnberger Fernmeldeturm in Betrieb genommen wurden. Dies bedeutet, dass die meisten Messpunkte im Innenbereich der Stadt Nürnberg mit der Umstellung auf DVB-T näher an die Sendeanlage heranrücken (Der Sender "Schwabach-Heidenberg" befindet sich in südlicher Richtung in etwa 15 km Entfernung vom Nürnberger Fernmeldeturm (siehe Bild III.2.15), der selbst am südlichen Rand von Nürnberg lokalisiert ist), so dass vermutlich eine Immissionszunahme in Nürnberg festzustellen ist, die allerdings nicht automatisch der "Technologie" DVB-T zugeordnet werden darf, sondern im wesentlichen durch die Verlagerung des Antennenstandortes bedingt ist.
- Bei der Auswertung der "Vorher-Nachher"-Messungen ist außerdem zu beachten, dass die analogen TV-Signale am Standort Olympiaturm und Wendelstein zum Zeitpunkt der "Vorhermessungen" bereits mit einer um etwa 3 bis 4 dB reduzierten ERP abgestrahlt wurden. Dies bedeutet, dass die Resultate der "Vorhermessung" nicht mehr den Zustand des analogen TV-Netzes widerspiegeln, wie er in dieser Region in den letzten Jahren anzutreffen war, sondern ein Szenario mit bereits reduzierter Immission. Diese Verzerrung der Immissionssituation muss angemessen korrigiert werden, was im Folgenden auch bei der Auswertung der Messergebnisse getan wurde (z.B. in Tabelle III.2.5).

III.2.3 Reproduzierbarkeit der Messung im UKW-Frequenzbereich

Um einen Eindruck über die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu gewinnen, wurden die Felder des UKW-Rundfunks sowohl bei der "Vorher-" als auch bei der "Nachhermessung" ermittelt. Die Konfiguration der UKW-Sendeanlagen im Untersuchungsgebiet im Sommer 2005 nicht wesentlich verändert wurde (nur im Bereich des Wendelsteins wurde durch den Umbau die ERP der UKW-Signale leicht erniedrigt). Dies bedeutet, dass Differenzen in den Messresultaten beider Kampagnen im wesentlichen durch veränderte Ausbreitungsbedingungen (Wetter, Belaubung etc.) bedingt sein müssen. Der Einfluss der Messausrüstung wurde minimiert, da für beide Kampagnen das gleiche Equipment verwendet wurde.

Prinzipiell hätte auch ein "Vorher-Nachher"-Vergleich des landesweiten DAB-Signals (Kanal 12) Auskünfte über die Wiederholbarkeit der Messungen liefern können, da die DAB-Sender in der betrachteten Region ebenfalls nicht verändert wurden. Jedoch wurde auf diesen Vergleich verzichtet, da zum Zeitpunkt der "Vorhermessungen" noch nicht hundertprozentig geklärt war, welches Messverfahren des verwendeten Messgerätes SRM-3000 bei den digitalen Rundfunksignalen zuverlässig den RMS-Wert liefert.

Folgende Grafik zeigt für 197 Messpunkte den Vergleich der gemessenen UKW-Summenleistungsflussdichte (Nachhermessung / Vorhermessung in dB). Ein positiver dB-Wert bedeutet also, dass bei der zweiten Messung mehr gemessen wurde als bei der ersten. An drei der 200 Messpunkte war der Vergleich nicht möglich, da hier die UKW-Messdaten fehlerhaft waren (Übertragungsfehler des Messgerätes).

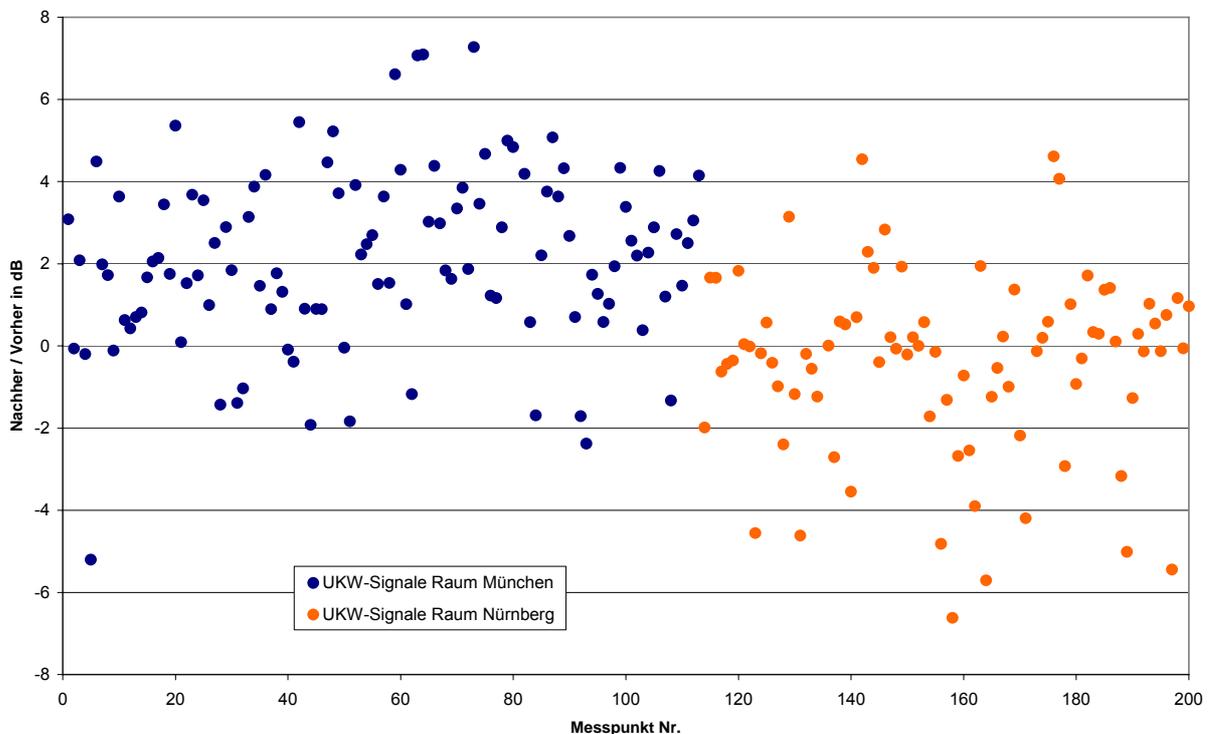


Bild III.2.2: Ergebnis des Vergleichs der UKW Summenfeldstärke der beiden Messungen (Verhältnis aus Nachhermesswert zu Vorhermesswert in dB) für 197 Messpunkte

Eine Auswertung obiger Grafik liefert folgende Erkenntnisse:

- Der Unterschied zwischen den Ergebnissen der beiden Messungen liegt bei der Mehrzahl der Punkte im Bereich von maximal ± 3 dB (143 von 197 d.h. 72,6 %).
- Im Mittel ergibt sich, dass im Rahmen der Nachhermessung 1,03 dB mehr gemessen wurde, als bei der Vorhermessung (Standardabweichung: 2,52 dB).
- Interessant ist dabei, dass sich offensichtlich ein Unterschied zwischen den Regionen München und Nürnberg ergibt. Im Raum Nürnberg erscheint die Reproduzierbarkeit besser (Mittlere Abweichung: -0,43 dB, im Münchner Raum hingegen: +2,14 dB). Auch die Streubreite der Differenzen ist geringer: Im Nürnberg liegen 70 von 85 Messpunkten (d.h. 82,4 %) innerhalb des ± 3 dB-Bereichs, während es in München nur 73 von 112 (65,2 %) sind. Es drängt sich daher der Verdacht einer systematischen Abweichung auf.

Um der Frage nach der Ursache für die festgestellten Unterschiede bezüglich der Reproduzierbarkeit zwischen den Regionen Nürnberg und München näher auf den Grund zu gehen, wurden die Münchner Messdaten genauer analysiert. Dabei stellte sich heraus, dass hauptsächlich nur die UKW-Signale, die vom Standort "Wendelstein" ausgesendet wurden, bei der zweiten Messung im Mittel signifikant höhere Resultate lieferten als bei der ersten Messung. Dieser Sachverhalt ist in folgender Grafik dargestellt:

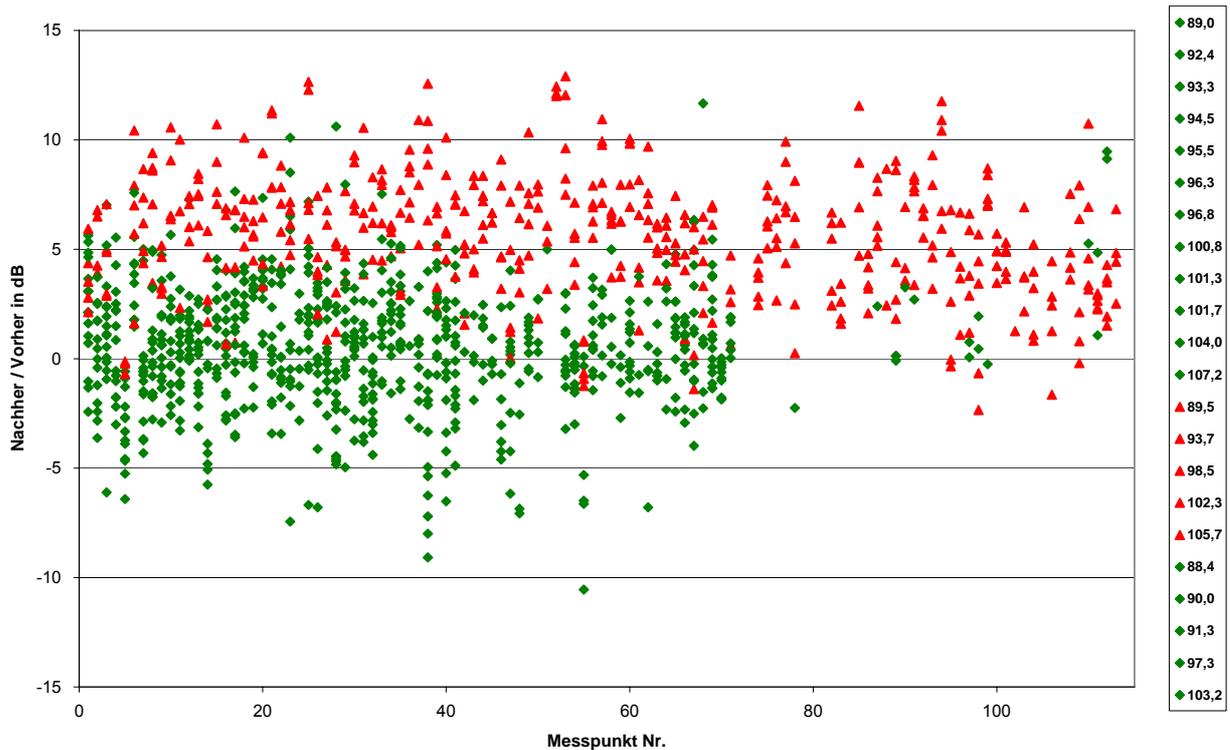


Bild III.2.3: Ergebnis des Vergleichs der UKW Summenfeldstärke im Raum München, aufgelöst für einzelne Frequenzen (Rot: Wendelstein; Grün: Olympiaturm bzw. Ismaning)

Lässt man die Signale vom Wendelstein außer acht, so ergibt sich im Raum München, ähnlich wie in der Region Nürnberg, wieder eine nahezu symmetrische Verteilung um den Nullwert herum. Der Mittelwert über alle grünen Punkte beträgt dann +0,6 dB (Standardabweichung: 2,8 dB).

Bei den Signalen vom Wendelstein hingegen ist eine deutliche Tendenz zu höheren Messergebnissen im Rahmen der "Nachhermessung" festzustellen (Mittelwert über alle roten Punkte: +5,6 dB, Standardabweichung 2,9 dB). Eine absolut erschöpfende Erklärung für diese offensichtlich systematische Abweichung kann nicht gegeben werden. Nachfragen beim Bayerischen Rundfunk ergaben keinen schlüssigen technischen Grund für diesen Effekt. Möglich wäre auch, dass die Abweichungen hauptsächlich jahreszeitlich oder durch das Wetter bedingt sind. Da die Messpunkte im Mittel vom Wendelstein deutlich weiter entfernt sind, als von München, würden sich wetter- oder jahreszeitlich bedingte Unterschiede im Dämpfungskoeffizient auch stärker bemerkbar machen, als im Stadtbereich von

München. Im folgenden Bild sind daher die Ergebnisse des UKW-Vergleichs für Signale vom Wendelstein in Abhängigkeit von der Entfernung zum Wendelstein aufgetragen:

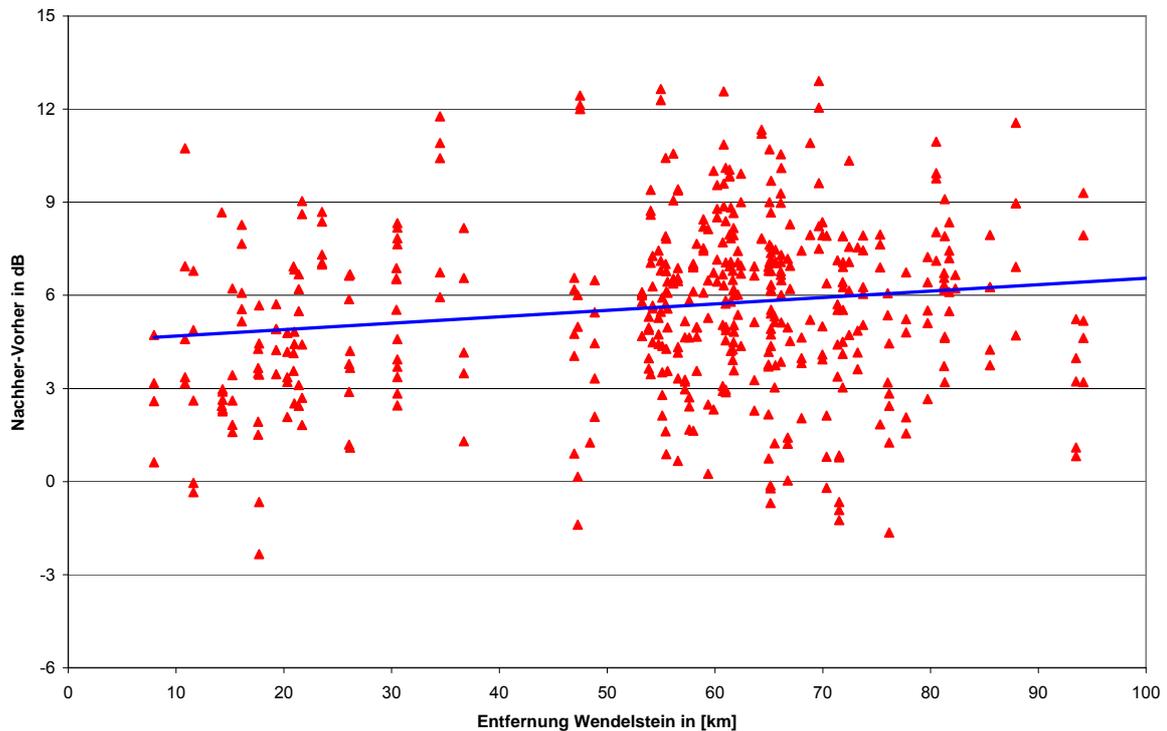


Bild III.2.4: Ergebnis des Vergleichs der UKW Summenfeldstärke für Signale vom Wendelstein in Abhängigkeit von der Entfernung zum Senderstandort

Wie die eingezeichnete Regressionsgerade verdeutlicht, ergibt sich nur eine leichte Zunahme der Differenz zwischen "Vor-" und "Nachhermessung" für weiter entfernte Punkte, was den Einfluss wetterbedingter Dämpfungsunterschiede nur wenig unterstützt.

Auch eine genauere Auswertung der Wetterbedingungen an den Messpunkten erhärtet die Annahme eines deutlichen Wettereinflusses nicht:

An insgesamt 57 der 200 Messpunkte (32 in der Region Nürnberg, 25 im Bereich München) trat während einer der beiden Messungen Niederschlag auf (leichter bis mittelstarker Regen), wobei an 53 Punkten der Regen während der "Vorhermessung" auftrat. An vier Punkten regnete es während der "Nachhermessung". An keinem Punkt regnete es während beider Messungen.

Berechnet man für diese 57 Punkte wiederum den mittleren Unterschiedsfaktor zwischen "Vor-" und "Nachhermessung", so ergeben sich mit -0,4 dB für die Region Nürnberg bzw. +2,1 dB für die Region München nahezu die gleichen durchschnittlichen Abweichungen, wie bei Mittelwertbildung über alle Punkte. Der Niederschlag übt also offensichtlich keinen signifikanten Einfluss auf die gemessenen Feldstärkewerte aus. Bei 77,2 % der 57 Punkte ergibt sich ein Unterschied zwischen "Vor-" und "Nachhermessung" von weniger als 3 dB. Dieser Prozentsatz ist sogar geringfügig besser als der bei Betrachtung aller 200 Punkte.

Fazit:

Zusammenfassend kann man feststellen, dass der Pegelunterschied zwischen den beiden Messkampagnen für die UKW Signale an der überwiegenden Zahl der Messpunkte weniger als 3 dB beträgt. Eine bessere Reproduzierbarkeit ist erfahrungsgemäß aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren auch nicht zu erwarten gewesen. Allerdings wurde beobachtet, dass die UKW-Signale vom Wendelstein systematisch bei der zweiten Messung stärker vorhanden waren als beim ersten Messdurchgang, ohne dass dafür eine plausible Begründung gefunden werden kann. Eine witterungsbedingte Ursache für diesen Effekt konnte nicht nachgewiesen werden. Die Gesamtaussage der vergleichenden Messungen wird allerdings durch diesen Effekt nicht in Frage gestellt.

III.2.4 Gesamtexposition und Verteilung auf die verschiedenen Funkdienste

In diesem Abschnitt soll zunächst die an den Messpunkten gefundene Gesamtimmission, also die Summe aus allen gemessenen Funkdiensten vor und nach der DVB-T-Umstellung, vergleichend gegenübergestellt werden. Folgende Tabelle gibt zunächst einen Überblick über wichtige Kennwerte der Verteilung der Resultate. Dabei wird zum einen die Summenleistungsflussdichte, zum anderen der grenzwertbezogene Summenwert in ppm ("Ausschöpfungsgrad der Grenzwerte") [ICNIRP 98] betrachtet.

Anzumerken ist an dieser Stelle noch, dass die Immissionen der DAB-Sender (die, wie später noch gezeigt wird, nur einen sehr geringen Anteil an der Gesamtimmission ausmachen) nur im Rahmen der "Nachhermessung" erfasst wurden. Um keine Verzerrung der Ergebnisse zu erzeugen (Es soll ja die Gesamtexposition "nachher" mit der Gesamtexposition "vorher" verglichen werden), wurden diese Messresultate unverändert auch für die Auswertung der "Vorhermessung" übernommen, da die DAB-Signale auch bereits zum Zeitpunkt der "Vorhermessung" vorhanden waren, jedoch davon ausgegangen werden kann, dass keine nennenswerte Veränderung bezüglich der DAB-Felder zwischen den beiden Messungen aufgetreten ist.

Kennwert	Vorhermessung		Nachhermessung	
	S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$	Millionstel vom Grenzwert	S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$	Millionstel vom Grenzwert
Kleinster Messwert	0,03	0,01	0,03	0,01
Größter Messwert	4.039,8	2.019,6	4.748,6	2.374,4
Spannweite [dB]	52 dB	52 dB	52 dB	53 dB
Mittelwert	53,0	25,1	76,6	34,6
Median	1,0	0,4	5,1	1,8

Tabelle III.2.2: Ergebnisse der "Vorher-" bzw. "Nachhermessung" (Gesamtimmission Ton- und Fernsehgrundfunk): Wichtige Kennwerte

Es ergibt sich also ein sehr großer Unterschied zwischen den größten und den kleinsten Messwerten (Spannweite mehr als 50 dB). Auch ist eine deutliche Differenz zwischen Mittelwert und Median feststellbar, was auf eine stark unsymmetrische Verteilung schließen lässt.

In obiger Tabelle wurde die Exposition sowohl absolut als Leistungsflussdichte S in $\mu\text{W}/\text{m}^2$ als auch grenzwertbezogen (Summe aller auf den jeweiligen individuellen Leistungsflussdichtegrenzwert bezogenen Einzelwerte) dargestellt. In den nachfolgenden Untersuchungen wird allerdings auf die grenzwertbezogene Darstellung verzichtet, da gerade im hier relevanten TV-Frequenzbereich zwischen 200 und 850 MHz keine konstanten Grenzwerte vorliegen und daher die gleiche Leistungsflussdichte bezogen auf den Grenzwert für einen TV-Kanal im VHF-Bereich strenger zu bewerten wäre als der gleiche Wert im UHF-Bereich. Dadurch

soll verhindert werden, dass ein DVB-T-Signal, das beispielsweise in einem höheren Kanal abgestrahlt wird, als ein in der Region vor der Umstellung vorhandenes analoges TV-Signal, nur deswegen weniger stark Einfluss auf die Summenexposition ausübt, als vorher das analoge Signal (oder umgekehrt). Denn die Tatsache, dass TV-Sender in den höheren Kanälen aufgrund der in diesem Frequenzbereich ansteigenden Grenzwertkurve einen abnehmenden grenzwertbezogenen Expositionsanteil liefern, soll hier nicht einen verzerrenden Einfluss auf die "Vorher-Nachher"-Bewertung ausüben.

In den folgenden beiden Bildern ist die Verteilung der Messwerte auf einzelne Leistungsflussdichteklassen als Histogramm sowie die sich daraus ergebenden kumulierten Werte als Verteilungsfunktion dargestellt:

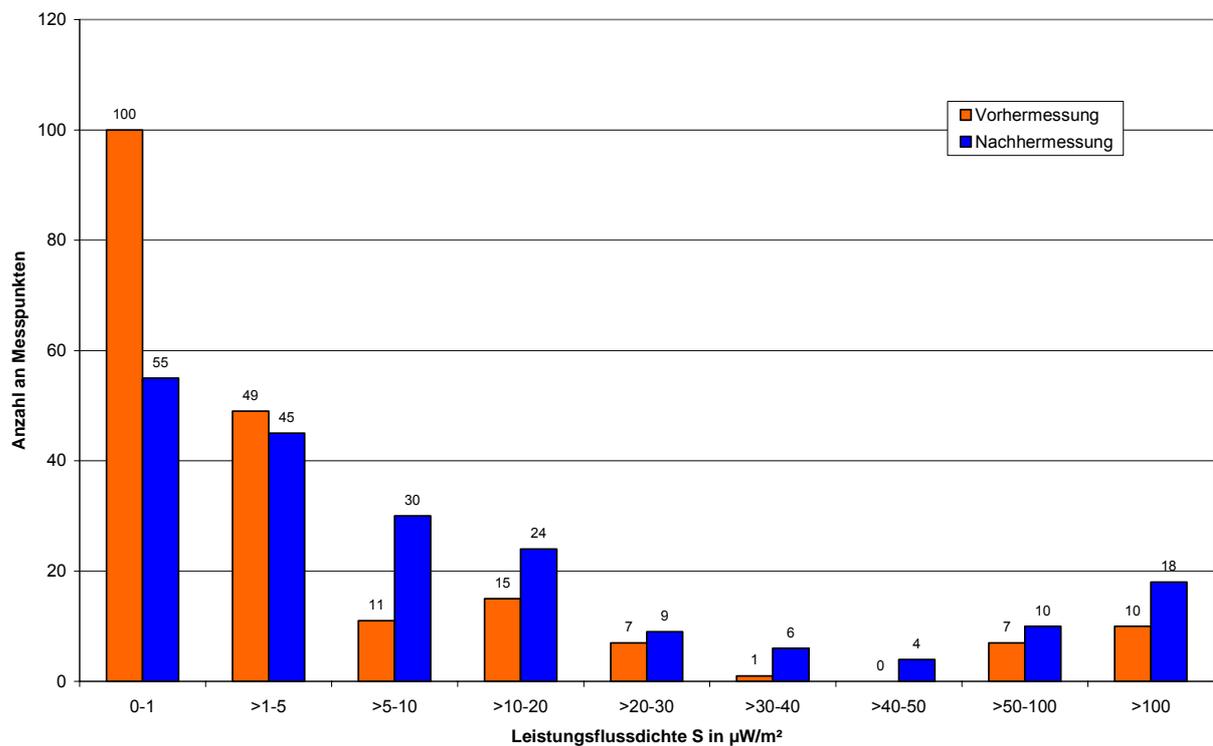


Bild III.2.5: Verteilung (Histogramm) der gemessenen Leistungsflussdichtewerte (Gesamtimmision Ton- und Fernseh Rundfunk)

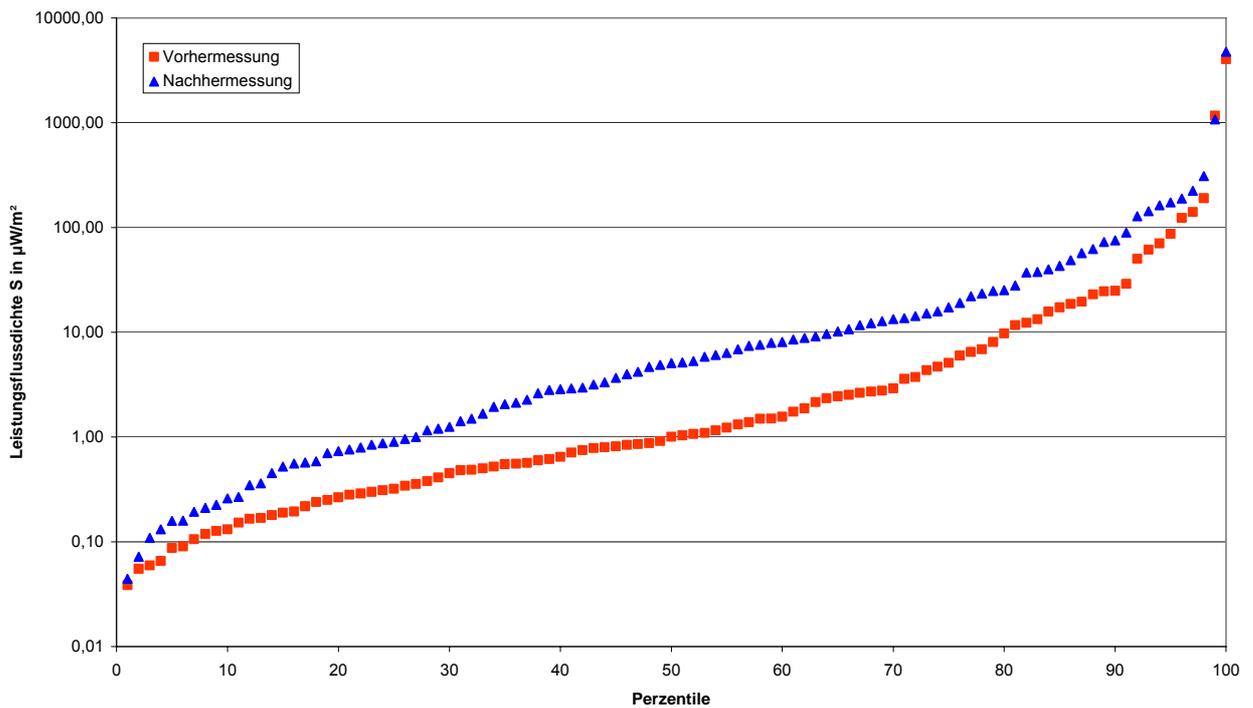


Bild III.2.6: Verteilungsfunktion der gemessenen Leistungsflussdichtewerte (Gesamtimmission Ton- und Fernsehrundfunk)

Obige Bilder sowie die Resultate aus Tabelle III.2.2 verdeutlichen, dass bei der "Nachher-" Messkampagne im Mittel an den Messpunkten höhere Immissionen festgestellt wurden, als bei der "Vorhermessung".

In der nächsten Abbildung ist dargestellt, wie sich die Immissionswerte mit dem Abstand zur Sendeanlage verhalten, wobei hier nur die Ergebnisse der Nachhermessung dargestellt sind. Als Abstand zur Sendeanlage wird hierbei die Entfernung zum nächsten DVB-T-Standort verwendet.

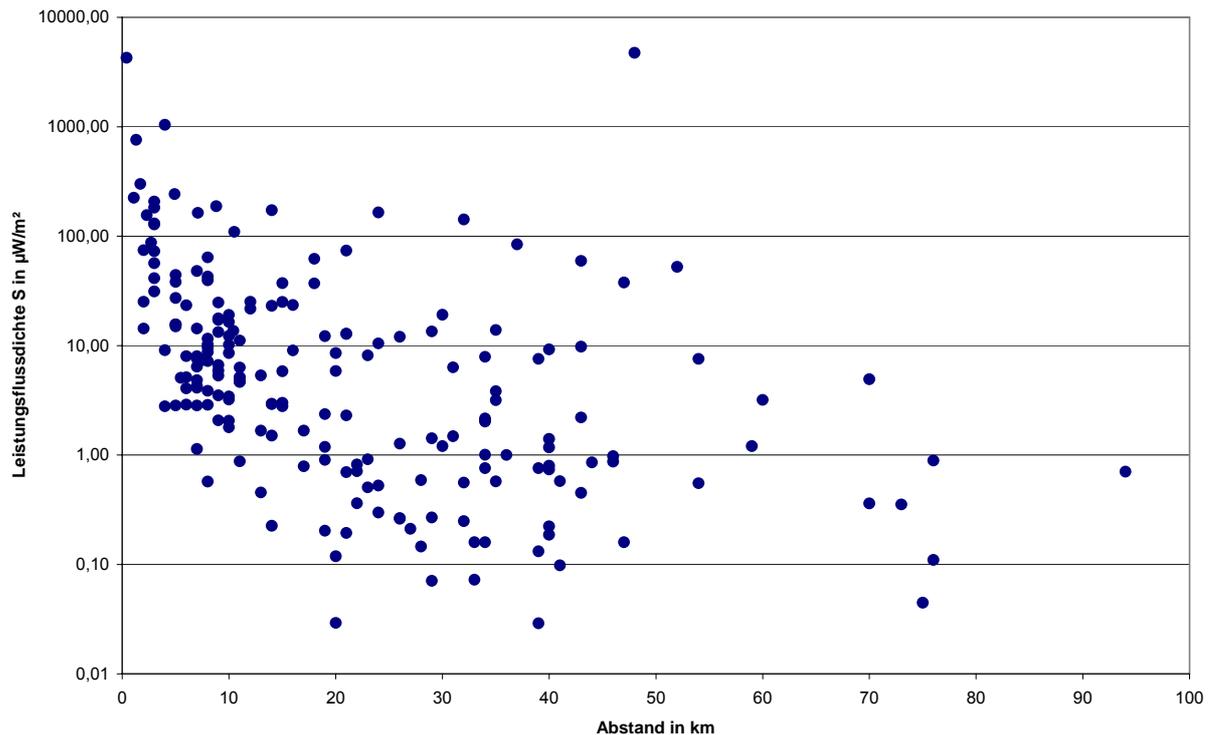


Bild III.2.7: Gemessene Leistungsflussdichtewerte (Gesamtimmission Ton- und Fernseh Rundfunk) als Funktion vom Abstand zum nächsten DVB-T-Standort ("Nachhermessung")

Wie zu erwarten, ergeben sich in größeren Abständen zu den Senderstandorten im Mittel niedrigere Expositionswerte, als im Nahbereich. Allerdings ist eine große Streubreite (typisch 20 bis 30 dB) feststellbar. Es gibt aber auch einen bemerkenswerten Ausreißer: Der absolut größte Messwert fand sich nicht in unmittelbarer Umgebung eines DVB-T-Standortes, sondern in 48 Kilometer Entfernung vom Wendelstein in der Nähe von Traunstein. Die dort messbare Feldstärke wurde jedoch nicht vom Sender Wendelstein, sondern von einem in wenigen hundert Meter entfernten lokalen UKW-Senderstandort (Lokalradio, 99,4 MHz, ERP = 300 W und Antenne Bayern, 103,7 MHz, ERP = 5 kW) erzeugt.

Zusätzlich zur Summenexposition ist natürlich interessant, wie die Leistungsflussdichtewerte auf die einzelnen Funkdienste verteilt sind. Hierzu wurde für die 200 Messpunkte die mittlere Leistungsflussdichte getrennt nach betrachteten Funkdiensten jeweils für die "Vor-" und die "Nachhermessung" errechnet. Das Ergebnis ist in folgendem Bild dargestellt. Betrachtet man zunächst die beiden grünen Säulenreihen, so wird die erwartete Abnahme der analogen Immission bei gleichzeitiger Zunahme der DVB-T-Immission deutlich. Verwunderlich ist allerdings die starke Dominanz der UKW-Immission, was zur Aussage verleiten könnte, dass der UKW-Rundfunk die Hauptursache für die festgestellten Immissionen an den untersuchten Punkten darstellt und die TV-Signale nur von zweitrangiger Bedeutung sind.

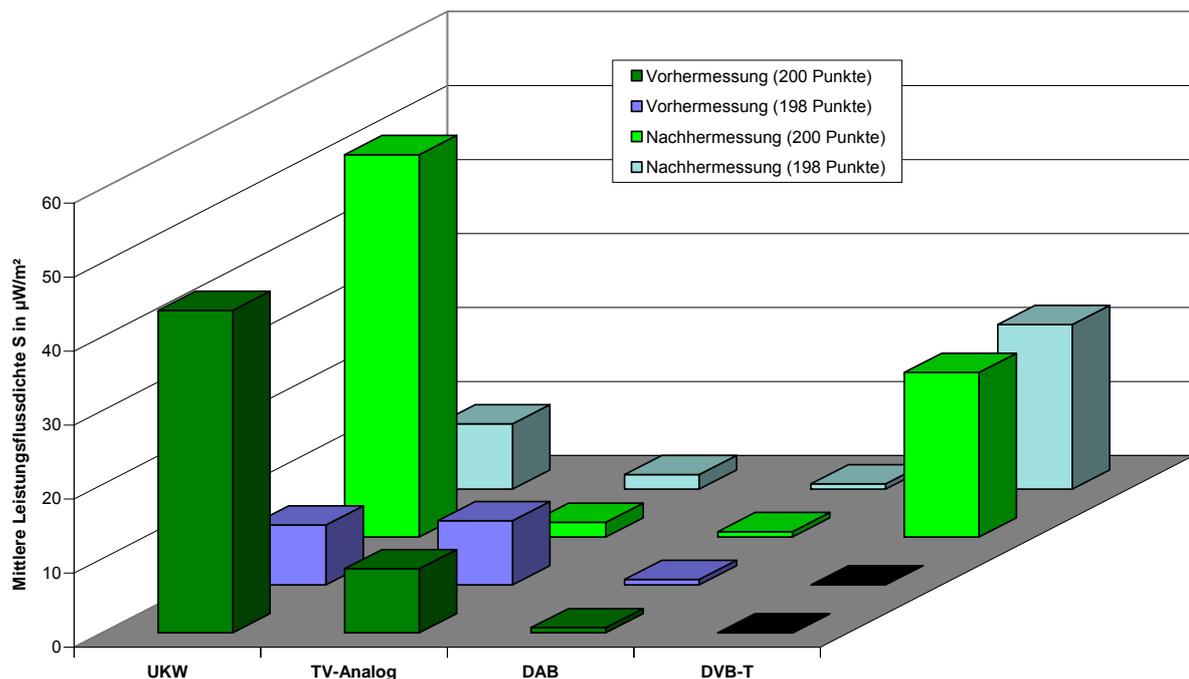


Bild III.2.8: Mittelwerte der Leistungsflussdichten, aufgliedert nach Funkdiensten

Eine genauere Analyse der Messergebnisse zeigt allerdings sehr schnell, dass diese Aussage so nicht zutrifft, da hier einige wenige Messergebnisse zu einer starken Verzerrung der Mittelwerte führen: Wie bereits erwähnt, besitzen die Messergebnisse eine Dynamik von mehr als 50 dB, wobei große Messwerte nur sehr selten auftreten. Ergibt sich nun, dass an einigen der Messpunkte mit sehr hoher Immission diese überwiegend von nur einem Funkdienst erzeugt wird, so verfälscht dies sehr stark den relativen Unterschied der Mittelwerte. Genau das war hier der Fall: An den beiden Messpunkten mit der absolut höchsten Summenimmission wurde diese hauptsächlich von UKW-Signalen erzeugt, was den Mittelwert über alle 200 Punkte so weit verzerrt, dass es zur scheinbaren Dominanz der UKW-Felder führt. Wiederholt man die Auswertung ohne diese beiden Punkte, so zeigt sich ein völlig anderes Bild: Die blauen Säulenreihen in Bild III.2.8 geben die mittleren Leistungsflussdichtewerte für die restlichen 198 Punkte wieder. Wie man erkennen kann, ist die Dominanz des UKW-Rundfunks nun nicht mehr vorhanden. Bei der "Vorhermessung" herrscht in etwa ein Gleichgewicht mit den analogen TV-Signalen, während bei der "Nachhermessung" nun deutlich die DVB-T-Felder dominieren.

Diese starke Veränderung der Verteilung verdeutlicht, dass der Mittelwert der Leistungsflussdichte (berechnet über alle betrachteten Punkte) als Größe zur Quantifizierung der "mittleren Expositionssituation" nicht geeignet ist, da hierbei die Resultate an einigen wenigen Punkten eine völlige Veränderung der mittleren Situation erzeugen können.

Will man also aus den Messergebnissen einen Eindruck über die Veränderung der "mittleren Immissionssituation" gewinnen, muss man andere Größen verwenden. Wesentlich unempfindlicher bezüglich einzelner "Ausreißer" erweist sich beispielsweise der Median, wie folgende Tabelle zeigt:

Kennwert	Mittelwert [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]		Median [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]	
	200 Messpunkte	198 Messpunkte	200 Messpunkte	198 Messpunkte
Vorhermessung	53,0	17,5	1,0	1,0
Nachhermessung	76,6	33,8	5,1	5,0
Unterschied [dB]	1,6	2,9	7,1	7,0

Tabelle III.2.3: Mittlere Summenleistungsflussdichte und Median bei Betrachtung aller 200 Messpunkte bzw. bei Weglassen der zwei Punkte mit den höchsten Immissionswerten

Man erkennt deutlich die stark unterschiedlichen Mittelwerte bei Betrachtung von 200 bzw. 198 Messpunkten, während der Median nahezu unverändert bleibt. Würde man hier den Mittelwert als Maß für die "mittlere Immissionsveränderung" heranziehen, ergäbe sich nur eine moderate Erhöhung (je nach Zahl der betrachteten Messpunkte von 1,6 bzw. 2,9 dB), weil die beiden starken UKW-Signale die mittlere Immissionssituation dominieren. Verwendet man hingegen den Median als "mittleres Expositionsmaß", stellt man eine Immissionszunahme von etwa 7,5 dB fest. Dieser Wert wird nicht nennenswert davon beeinflusst, ob die zwei Messpunkte mit den extremen UKW-Ergebnissen in die Auswertung einbezogen werden oder nicht. Der Median liefert also einen brauchbaren und stabilen Beurteilungswert für die "mittlere Expositionssituation".

Zur Vervollständigung sind in folgender Tabelle nicht nur die Mediane der Summenexpositionswerte angegeben, sondern auch die entsprechenden Größen für die einzelnen Funkdienste:

Funkdienst	Median "Vorhermessung" [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]	Median "Nachhermessung" [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]
UKW	0,3	0,4
Analog-TV	0,3	0,004
DAB	-	0,03
DVB-T	-	1,9
Gesamt	1,0	5,1

Tabelle III.2.4: Medianwerte für die einzelnen Funkdienste und die Gesamtexposition

Fragt man, welche Immission insgesamt jeweils an den 200 Messpunkten am häufigsten absolut den größten Einzelanteil darstellt, so ergibt sich für die "Vorhermessung" eine Dominanz der UKW-Signale (An 120 von 200 Messpunkten mehr als 50 Prozent Anteil an der Gesamtleistungsflussdichte), während bei der "Nachhermessung" die DVB-T-Signale dominieren (An 113 von 200 Messpunkten mehr als 50 Prozent Anteil an der Gesamtleistungsflussdichte).

Eine andere Möglichkeit, ein "mittleres Expositionsmaß" zu definieren, ist die Berechnung des Leistungsflussdichtequotienten "nachher/vorher" und Darstellung für jeden Punkt im logarithmischen Maß als dB-Wert. Das Resultat dieser Operation ist in folgender Abbildung zu sehen:

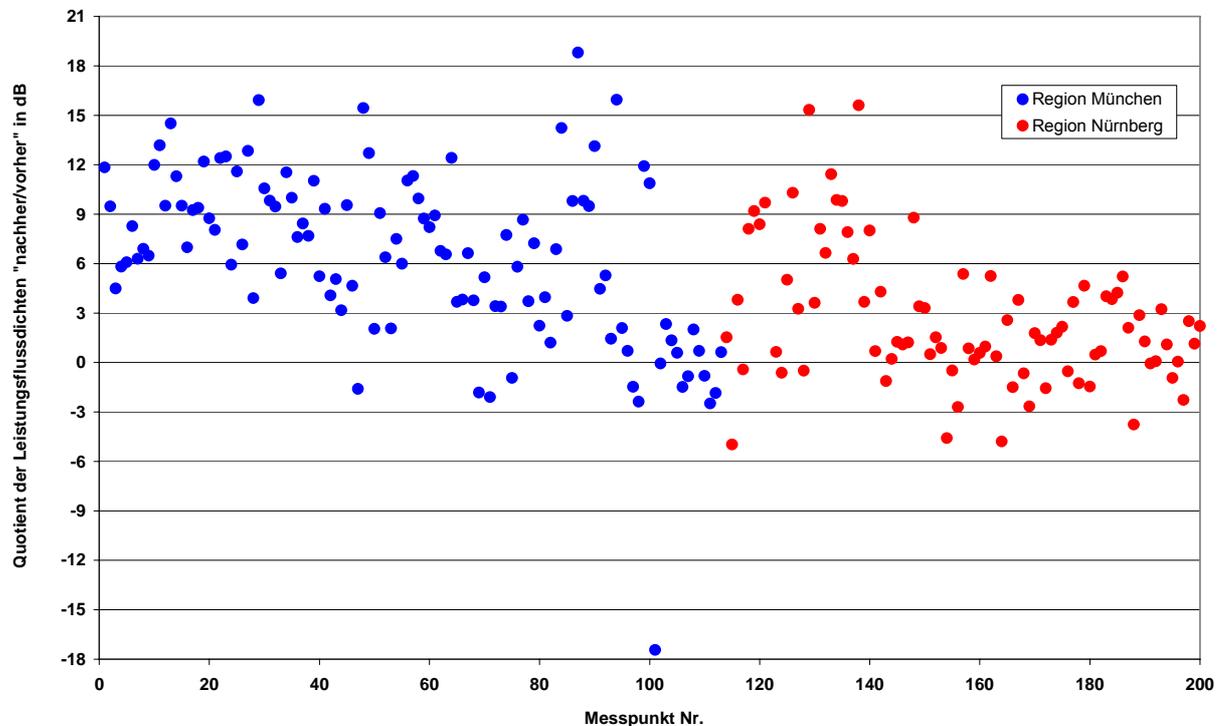


Bild III.2.9: Quotient der Leistungsflussdichtewerte aus "Nach-" und "Vorhermessung" in dB (Gesamtimmission Ton- und Fernsehrundfunk)

Anmerkung:

Die auffällig starke Abnahme der Immission am Messpunkt 101 von knapp 18 dB ist kein Messfehler. In der Nähe des Messpunktes (86576 Schiltberg bei Aichach) war während der "Vorhermessung" ein analoger TV-Füllsender in Betrieb, der dann im Rahmen der DVB-T-Umstellung abgeschaltet wurde. Bei der "Nachhermessung" wurden an diesem Punkt dann nur relativ geringe DVB-T-Felder festgestellt, da die Entfernung zum Münchner Olympiaturm dort bereits sehr groß ist, so dass sich ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Messungen einstellte.

Bildet man den linearen Mittelwert aus den dB-Werten von Bild III.2.9 (was bei Betrachtung bezüglich der "mittleren Exposition" impliziert, dass eine Verdoppelung der Immission an einem Punkt durch eine Halbierung der Immission an einem andern Punkt genau kompensiert wird), so ergibt sich über alle 200 Punkte eine "mittlere Expositionszunahme" von 4,8 dB. Allerdings ist hierbei ein deutlicher Unterschied zwischen den Regionen München und Nürnberg festzustellen: Während im Raum Nürnberg das mittlere Verhältnis an den Messpunkten um 2,7 dB zunimmt, ist im Raum München ein deutlich größerer mittlerer Faktor von 6,5 dB feststellbar. Diese regionalen Unterschiede werden später noch näher analysiert.

Interessant ist auch die Frage nach der "mittleren Exposition" in den drei DVB-T-Versorgungsklassen. Nähere Informationen können aus folgendem Bild entnommen werden, das die Medianwerte für die einzelnen Funkdienste für die drei DVB-T-Versorgungsklassen darstellt:

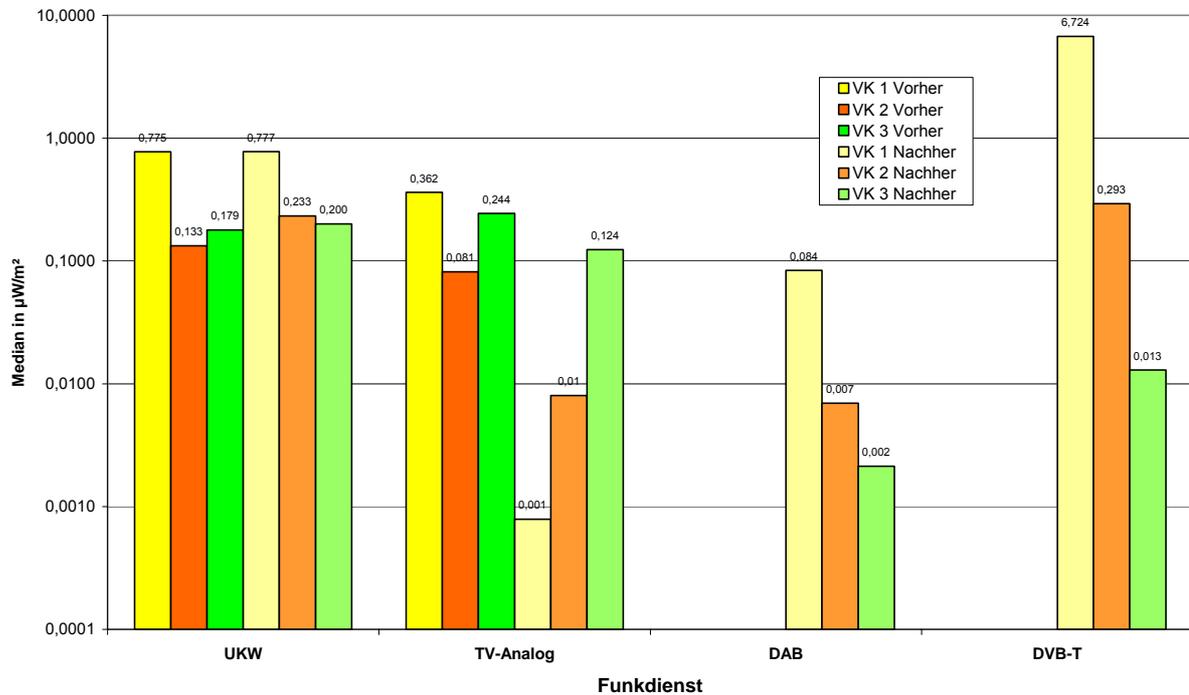


Bild III.2.10: Medianwerte der einzelnen Funkdienste für die drei DVB-T-Versorgungsklassen (VK1: "portable indoor"; VK2: "portable outdoor"; VK3: "fixed antenna")

Man erkennt deutlich, wie die Mediane für die DVB-T-Signale in den Versorgungsklassen 2 und 3 gegenüber dem Wert der Versorgungsklasse 1 ("portable indoor") abnehmen. Ursache dafür ist die derzeitige Versorgungssituation ("Inselversorgung"). Die Analogsignale hingegen (sowohl UKW als auch das analoge TV vor der Umstellung) zeigen eine deutlich homogenere Feldstärkeverteilung, da insbesondere an den Punkten in Bereich der Versorgungsklasse 3 bereits die nächsten analogen Grundnetzsender meist nicht weit entfernt sind. Außerdem werden in den analogen Netzen noch zusätzlich Füllsender betrieben. Damit lässt sich auch die Inhomogenität begründen, die bei den DAB-Signalen vorhanden ist. Da für DAB bereits flächendeckend in Bayern knapp 40 Standorte für die Grundversorgung betrieben werden, ist die Inhomogenität zwar nicht so stark ausgeprägt, wie bei DVB-T, die fehlenden Füllsender sorgen jedoch für eine stärkere Schwankungsbreite als es bei den analogen Netzen der Fall ist. Außerdem befinden sich auf allen betrachteten DVB-T-Standorten auch DAB-Grundnetzsender.

Nach Abschalten der analogen TV-Sender in den Regionen München und Nürnberg ändert sich die Feldverteilung merklich: Da jedoch die benachbarten analogen Grundnetzsender weiterhin in Betrieb bleiben, verschwindet selbst in der Versorgungsklasse 1 die analoge TV-Feldstärke nicht völlig, sondern im Mittel ergibt sich ein Rückgang um etwa 26 dB. Im Bereich der Versorgungsklasse 3 hingegen dominieren die Felder von den benachbarten analogen Grundnetzsendern bereits so stark, dass nur ein Rückgang des Median von etwa

3 dB zu beobachten ist. In dieser Versorgungsklasse ist der Median des digitalen Fernsehens bereits so stark abgesunken, dass er kleiner als der vom analogen TV ist.

Als Konsequenz aus den hier festgestellten Tatsachen kann man erkennen, dass der bisher durchgeführte "Vorher-Nachher"-Vergleich über alle 200 Messpunkte nur von beschränkter Aussagekraft ist, da insbesondere die Messpunkte aus Versorgungsklasse 3 die mittlere Veränderung verzerrt wiedergeben, weil hier eine Dominanz der weiterhin in Betrieb befindlichen analogen Sender vorliegt. Erst wenn in Zukunft auch diese Anlagen durch DVB-T ersetzt werden, kann für diesen Flächenbereich eine verlässliche Aussage über die Immissionsveränderung getroffen werden. Folgendes Bild verdeutlicht diesen Sachverhalt nochmals: In der Versorgungsklasse 3 ergibt sich eine völlig andere Verteilung der relativen Immissionsänderung (typisch bleibt die Änderung dort an den meisten Punkten im Bereich von ± 3 dB), während insbesondere in der Versorgungsklasse 1 (teilweise auch in der Klasse 2) eine deutliche Veränderung der Immission beobachtet werden kann.

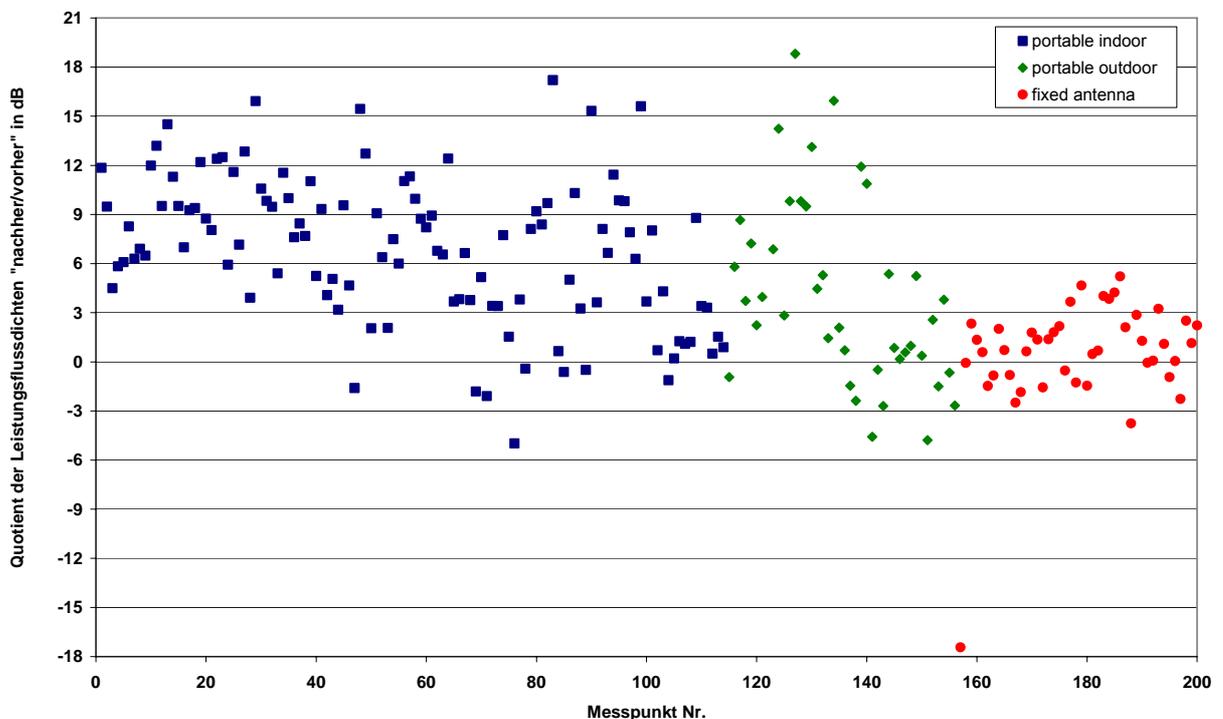


Bild III.2.11: Quotient der Leistungsflussdichtewerte aus "Nach-" und "Vorhermessung" in dB, allerdings sortiert nach Versorgungsklassen (Gesamtimmission Ton- und Fernseh-rundfunk)

Im Mittel wird also insbesondere durch die Messpunkte in Versorgungsklasse 3 eine zumindest in der Versorgungsklasse 1 signifikant vorhandene Immissionsänderung abgeschwächt, wenn man über alle Messpunkte mittelt.

Allerdings befinden sich die meisten der 200 Messpunkte im Bereich der Versorgungsklasse 1 (114 von 200), was durch die bevölkerungsgewichtete Messpunktauswahl bedingt ist. In den folgenden Abschnitten wird daher der "Vorher-Nachher"-Vergleich meist nur für diese sendernahen Punkte durchgeführt, da bei diesen im wesentlichen bereits die Situation

vorliegt, wie sie später nach flächendeckender Umrüstung auf DVB-T überall zu beobachten ist. Durch diese regionale Beschränkung wird die Aussage bezüglich der Immissionsveränderung verlässlicher.

Eine weitere Frage, die mittels der Messergebnisse näher quantifiziert werden kann, ist der mittlere Expositionsunterschied zwischen UKW- und DAB-Signalen. Hierzu wurden die Messergebnisse dieser beiden Funkdienste, die im Rahmen der zweiten Kampagne (Oktober 2005) gewonnen wurden, vergleichend gegenübergestellt. In den folgenden beiden Bildern ist die Verteilung der Messwerte auf einzelne Leistungsflussdichteklassen als Histogramm sowie die sich daraus ergebenden kumulierten Werte als Verteilungsfunktion dargestellt:

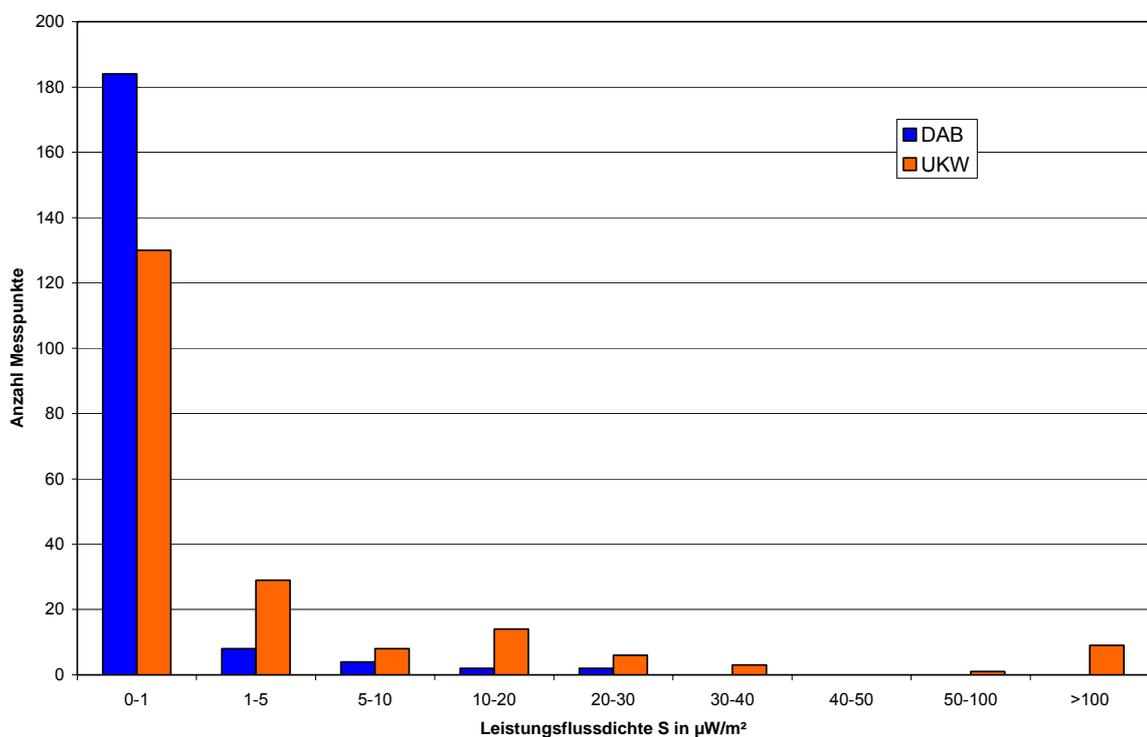


Bild III.2.12: Verteilung der gemessenen Leistungsflussdichtewerte (Histogramm) für UKW und DAB

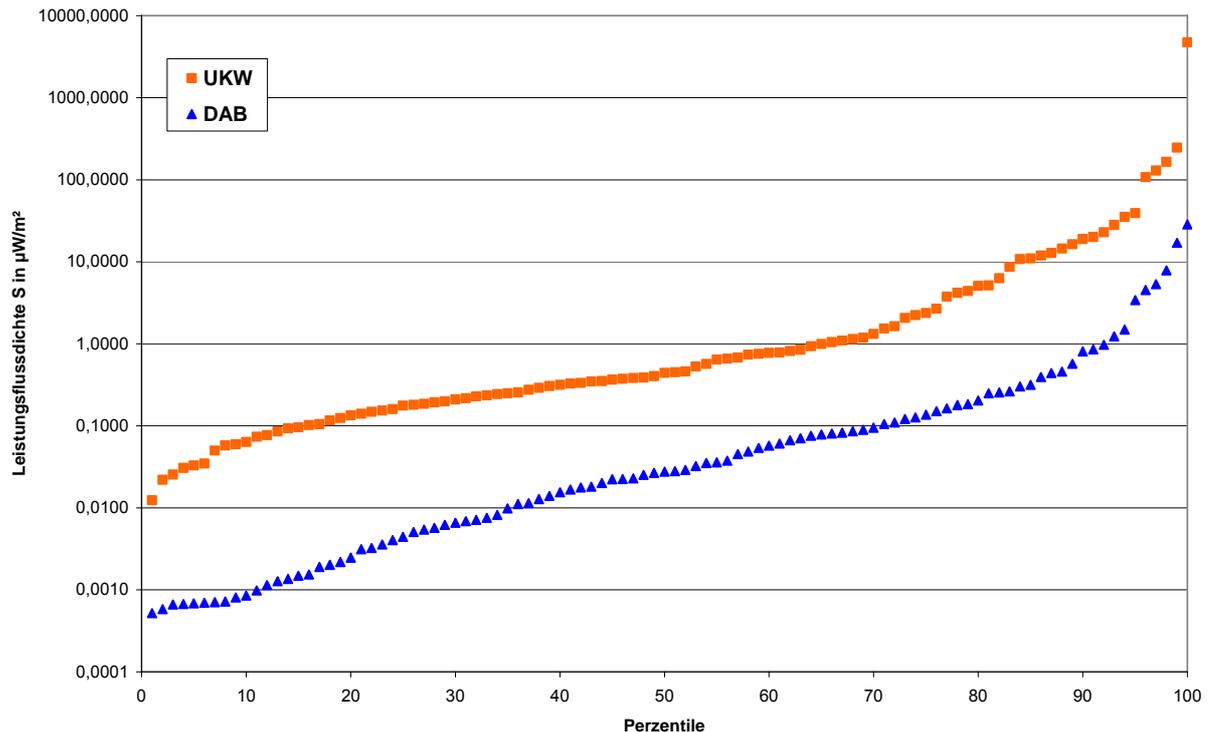


Bild III.2.13: Verteilungsfunktionen der UKW- und DAB-Signale

Wie bereits in Abschnitt I.6.2.2 aus dem Vergleich der installierten Sendeleistungen für UKW und DAB offensichtlich wurde, erzeugen die DAB-Signale im Mittel deutlich niedrigere Immissionswerte als sie von den UKW-Sendern verursacht werden. Die Medianwerte unterscheiden sich um 11,3 dB. Bei Betrachtung des mittleren logarithmischen Unterschiedsfaktors zwischen UKW und DAB ergibt sich ein Wert von 14,2 dB. Man kann also festhalten, dass an den betrachteten Messpunkten im Mittel die UKW-Exposition um mindestens den Faktor zehn höher ausfällt, als die des DAB-Rundfunks.

Vergleicht man diesen Immissionsunterschied mit dem in Abschnitt I.6.2.2 gefundenen Leistungsunterschied zwischen den landesweit empfangbaren UKW- und DAB-Signalen (21,8 dB), so zeigt sich, dass messtechnisch ein etwa 7 dB geringerer Unterschied festgestellt wurde, der vermutlich durch die Tatsache bedingt ist, dass die Messpunkte im Mittel näher an DAB- als an UKW-Grundnetzsendern liegen (Beispielsweise werden von den mit DAB-Grundnetzsendern bestückten Standorten Nürnberg-Fernmeldeturm und München-Olympiaturm keine UKW-Grundnetzsignale sondern nur leistungsschwache Lokalprogramme abgestrahlt).

Dieser deutliche Expositionsunterschied zwischen UKW und DAB wird vermutlich in Zukunft zumindest in den Ballungsregionen Bayerns kleiner werden, da der DAB-Netzbetreiber (Bayern Digital Radio) beabsichtigt, in Zukunft die Sender in den wichtigen Städten Bayerns mit deutlich höherer Leistung zu betreiben (5 bis 8 kW statt bisher 1 kW) [BLM 05].

Fazit:

Ein Vergleich der Ergebnisse der "Vorher-" bzw. "Nachhermessungen" an den 200 "Zufallspunkten" in Wohngebieten in den Regionen München und Nürnberg zeigt eine große Spannweite der absoluten Größe der "Summenexposition" von mehr als 50 dB, sowie eine sehr unsymmetrische Verteilung der Messwerte. Bezüglich der Grenzwertausschöpfung ergab sich am Punkt mit den höchsten Summenimmissionen ein leistungsflussdichtebezogener Ausschöpfungsgrad von nur etwa 2,4 Promille.

Analysiert man die statistische Verteilung der Resultate beider Messkampagnen, so ergibt sich eine mittlere Zunahme der festgestellten Expositionswerte. Will man eine Größe zur Beschreibung der Immissionsverteilung auf die verschiedenen Funkdienste bzw. der "mittleren Expositionsänderung" angeben, so erweist sich der arithmetische Mittelwert über die an den Punkten gemessenen Leistungsflussdichtewerte als nicht geeignet, da dieser Wert sehr stark von einzelnen "Ausreißern" (d.h. Punkten mit überdurchschnittlich hohen Feldstärken) beeinflusst wird. Als brauchbar erweist sich der Medianwert (50%-Perzentil) oder der mittlere logarithmierte Unterschiedsfaktor zwischen "Nachher-" und "Vorhermessung" aller Punkte (in dB). Mit einer "mittleren Zunahme" von 7,5 bzw. 4,8 dB liefern beide Betrachtungsweisen eine Veränderung in Richtung höherer Exposition nach Einführung des digitalen Fernsehens. Allerdings ist die Situation in den beiden untersuchten Regionen nicht gleich, sondern es zeigen sich Unterschiede bezüglich der Höhe der Veränderung. Außerdem ist zu beachten, dass die offensichtlich in den beiden betrachteten Regionen die tatsächlich vorhandene "mittlere Expositionsänderung" durch die Resultate an den Messpunkten der Versorgungsklasse 3 abgeschwächt wird.

Ein Vergleich zwischen UKW- und DAB-Signalen ergibt eine deutliche Dominanz der UKW-Signale (Unterschiedsfaktor im Mittel größer als 10 dB). Zukünftig vorgesehene Leistungserhöhungen bei DAB zur Gewährleistung einer zuverlässigeren Indoorversorgung werden diesen aktuellen Unterschied allerdings verkleinern.

III.2.5 Nähere Betrachtung der Region Nürnberg

In diesem Abschnitt soll die Expositionsänderung in der Region Nürnberg detaillierter analysiert werden. Folgendes Bild zeigt zunächst nochmals die relative Änderung der Messwerte in dB an den 87 Messpunkten der Region Nürnberg.

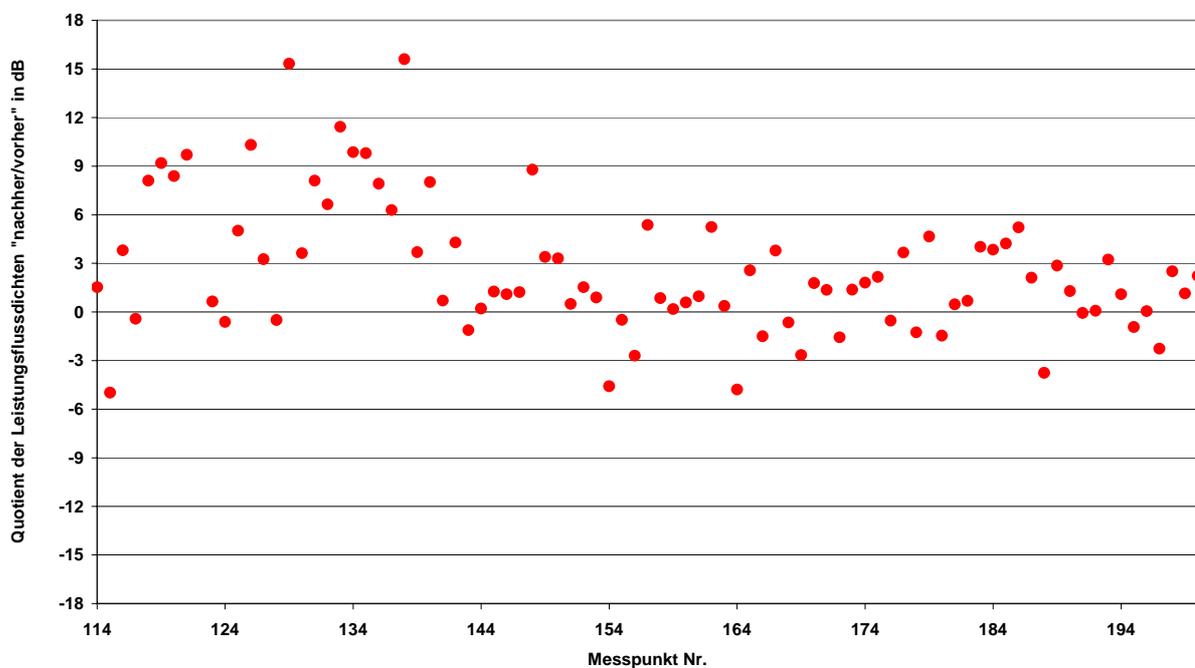


Bild III.2.14: Quotient der Leistungsflussdichtewerte aus "Nach-" und "Vorhermessung" in dB für die 87 Messpunkte im Raum Nürnberg (Gesamtimmission Ton- und Fernseh Rundfunk)

Wie bereits erwähnt, resultiert bei einer Mittelung über die dB-Werte in der Region eine durchschnittliche Zunahme von 2,7 dB bei einer Standardabweichung von 4,1 dB. Die Mehrzahl der Messergebnisse (49 von 87, d.h. 56 %) bleiben im Intervall von ± 3 dB. Interessant ist auch die Tatsache, dass nur ein Teil der Punkte signifikante Zunahmen zeigt (im Bereich der Punkte 120 bis 140), während der größere Teil nur geringe Veränderungen aufweist (Bereich 140 bis 200). Da die Nummerierung der Messpunkte nicht zufällig über die Region verteilt ist, sondern benachbarte Punkte auch räumlich meist mehr oder weniger nahe bei einander liegen, ist zu vermuten, dass die Zunahme der Immission auch nur in einem räumlich begrenzten Teil der Region Nürnberg auftritt.

Zur Visualisierung der räumlichen Immissionsverteilung wurden die 87 Messpunkte in einen Landkartenausschnitt eingezeichnet und die dort jeweils festgestellten Expositionsänderungen in fünf Klassen eingeteilt und mittels einer Farbcodierung der Messpunktsymbole dargestellt.

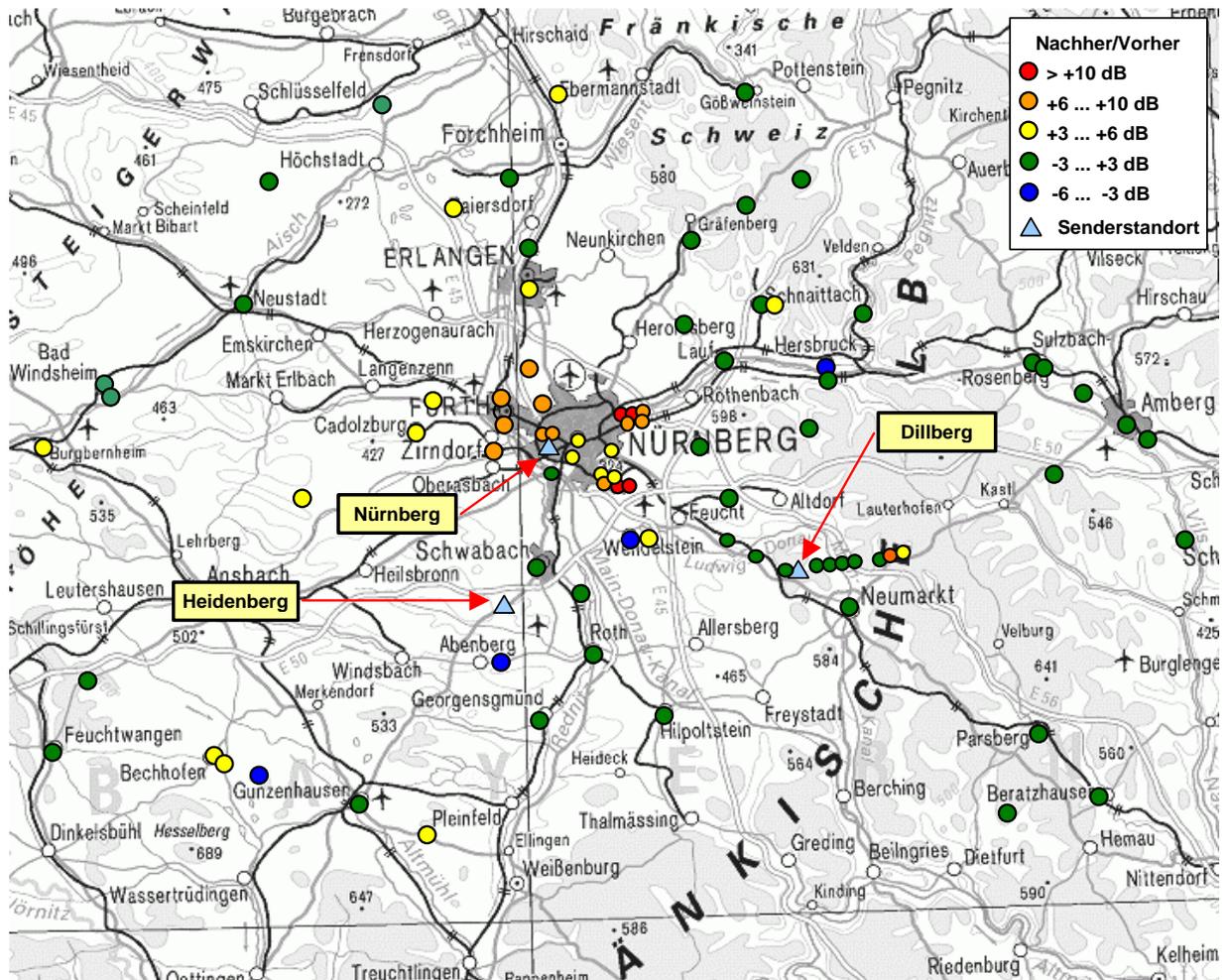


Bild III.2.15: Quotient der Leistungsflussdichtewerte (Gesamtimmision Ton- und Fernseh Rundfunk) aus "Nach-" und "Vorhermessung" in dB für die 87 Messpunkte im Raum Nürnberg (Darstellung in fünf Klassen)

Obige Karte zeigt deutlich, dass im Bereich der Ballungsregion Nürnberg / Fürth / Erlangen die Exposition signifikant zugenommen hat, was wegen der Nordverschiebung des Senderstandortes (vom Heidenberg südlich Schwabach hin zum Fernmeldeturm Nürnberg) nicht verwunderlich ist.

In der Umgebung des Standortes "Dillberg" ist hingegen nur eine geringfügige Zunahme erkennbar. Eine statistische Auswertung der Punkte in der Umgebung des Dillberg ergab eine mittlere Zunahme der Gesamtexposition von 1,5 dB (Standardabweichung: 2,4 dB). Dies ist ebenfalls nicht besonders überraschend, da die ERP am Dillberg, im Vergleich zum Fernmeldeturm Nürnberg, mit Einführung von DVB-T nur moderat gesteigert wurde (Zunahme der ERP um 5 dB; vgl. Tabelle I.6.1). Betrachtet man nur die Immission durch TV-Signale, so ergibt sich in der Region "Dillberg" eine mittlere Expositionszunahme von etwa 4,5 dB, also eine sehr gute Übereinstimmung zur Vergrößerung der ERP.

Die Messpunkte in größerer Entfernung zu den beiden Senderstandorten zeigen keine signifikante Expositionsänderung, da dort die Messwerte bereits durch andere (analoge) Grundnetzsender und / oder UKW dominiert werden.

Fazit:

Ein Vergleich der Ergebnisse der "Vorher-" bzw. "Nachhermessungen" an den 87 Messpunkten in der Region Nürnberg zeigt eine deutliche Zunahme der Gesamtexposition im Bereich der Stadtgebiete Nürnberg / Fürth / Erlangen (mittlere Zunahme: 6,8 dB). Grund dafür ist die Verlagerung der TV-Sender im Rahmen der Umstellung auf DVB-T vom Heidenberg südlich Schwabach zum Fernmeldeturm Nürnberg. Im Bereich "Dillberg" ist nur eine moderate Expositions Zunahme von 1,5 dB feststellbar. Die Messpunkte außerhalb der Versorgungsklasse "portable indoor" zeigen keine signifikante Veränderung der mittleren Exposition mehr.

III.2.6 Nähere Betrachtung der Region München

In diesem Abschnitt soll die Expositionsänderung in der Region München detaillierter analysiert werden. Folgendes Bild zeigt zunächst die relative Änderung der Messwerte in dB an den 113 Messpunkten der Region München.

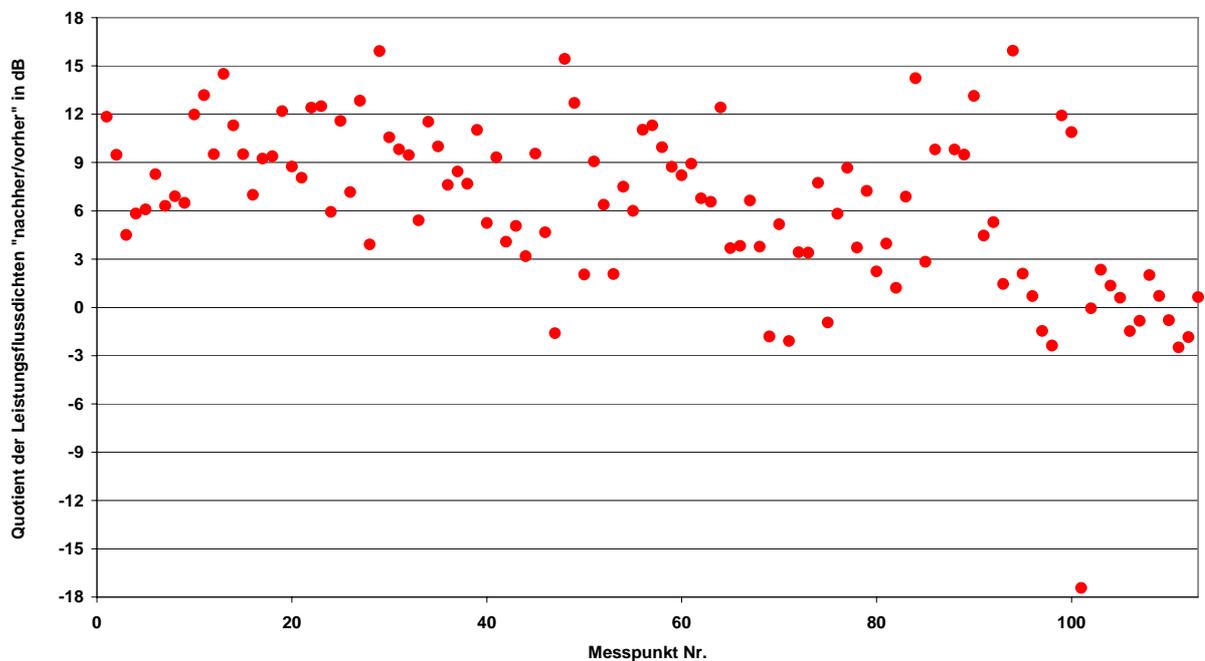


Bild III.2.16: Quotient der Leistungsflussdichtewerte aus "Nach-" und "Vorhermessung" in dB für die 113 Messpunkte im Raum München (Gesamtimmision Ton- und Fernsehgrundfunk)

Wie bereits erwähnt, resultiert hier bei einer Mittelung über die dB-Werte eine durchschnittliche Zunahme von 6,5 dB bei einer Standardabweichung von 5,2 dB. Nur 26 von 113 Punk-

ten (d.h. 23 %) bleiben im Intervall von ± 3 dB. Auch hier zeigt ein Teil der Punkte keine nennenswerte Zunahme (Bereich um 110), während der größere Teil signifikante Veränderungen aufweist. Da die Nummerierung der Messpunkte hier ebenfalls nicht zufällig über die Region verteilt ist, sondern benachbarte Punkte auch räumlich mehr oder weniger nahe bei einander liegen, ist zu vermuten, dass die Zunahme der Immission auch nur in einem räumlich begrenzten Teil der Region München auftritt.

Zur Visualisierung der räumlichen Immissionsverteilung wurden die 113 Messpunkte ebenfalls in einen Landkartenausschnitt eingezeichnet und die dort jeweils festgestellten Expositionsänderungen in sechs Klassen eingeteilt und mittels einer Farbcodierung der Messpunktsymbole dargestellt.

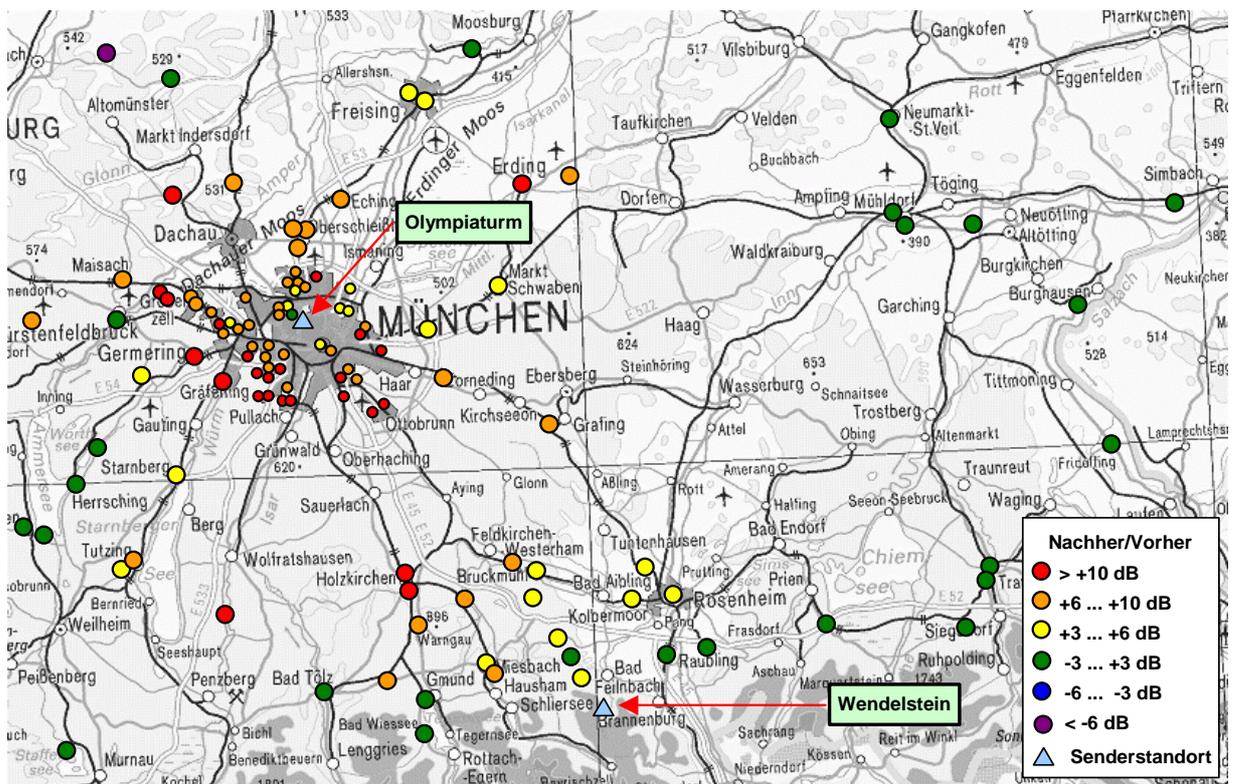


Bild III.2.17: Quotient der Leistungsflussdichtewerte (Gesamtimmision Ton- und Fernschrundfunk) aus "Nach-" und "Vorhermessung" in dB für die 113 Messpunkte im Raum München (Darstellung in sechs Klassen)

Obige Karte zeigt, dass sowohl im näheren Umfeld der Stadt München als auch in der Region nördlich des Wendelstein (dort allerdings etwas geringer ausgeprägt) die Exposition signifikant zugenommen hat. Die Messpunkte in größerer Entfernung zu den Senderstandorten hingegen zeigen wieder keine signifikante Expositionsänderung, da dort die Messwerte bereits durch andere (analoge) Grundnetzsender und/oder UKW dominiert werden.

Die Immissionszunahme in der Umgebung des Wendelstein (mittlere Zunahme der Gesamtexposition: 5,5 dB; Standardabweichung: 4,3 dB) ist nicht besonders verwunderlich, da die vom Wendelstein nominell abgestrahlte ERP nach der Einführung von DVB-T um etwa 11 dB zugenommen hat (siehe Tabelle. I.6.3). Zusätzlich ist allerdings zu berücksichtigen, dass die analogen TV-Signale vom Wendelstein zum Zeitpunkt der "Vorhermessung" bereits seit

einigen Monaten über eine provisorische Antenne mit etwa 4 dB verringerter ERP abgestrahlt wurden, was natürlich einen Einfluss auf die Resultate der "Vorhermessung" ausübt.

Berücksichtigt man die während der "Vorhermessung" vorhandene Leistungsreduktion um 4 dB beim Analog-TV, so ergibt sich nur noch eine mittlere Zunahme der Gesamtexposition von 4,7 dB. Betrachtet man hingegen ausschließlich die Immission durch TV-Signale und berücksichtigt wieder die während der "Vorhermessung" vorhandene Leistungsreduktion um 4 dB beim Analogfernsehen, so ergibt sich eine mittlere Immissionszunahme von etwa 6 dB, also zirka 5 dB weniger, als die nominelle Erhöhung der ERP.

Im näheren Umfeld von München (55 Messpunkte in Versorgungsklasse 1) ist ebenfalls eine Zunahme der Gesamtexposition festzustellen (Mittlere Zunahme: 8,7 dB, Standardabweichung: 3,2 dB). Auch am Olympiaturm hat die ERP mit Einführung von DVB-T zugenommen (Zunahme um 5 dB). Allerdings ist auch hier der zusätzliche Einfluss einer Leistungsreduktion zu berücksichtigen, denn am Olympiaturm wurden die analogen Kanäle zum Zeitpunkt der "Vorhermessung" bereits über eine provisorische Antenne abgestrahlt, so dass sich eine um etwa 3 dB niedrigere ERP ergab, als nominell die Jahre vorher vorhanden war.

Berücksichtigt man die während der "Vorhermessung" vorhandene Leistungsreduktion um 3 dB beim Analog-TV, so ergibt sich nur noch eine mittlere Zunahme der Gesamtexposition von etwa 7 dB. Betrachtet man hingegen ausschließlich die Veränderung der TV-Signale, resultiert eine Expositionszunahme von 9,2 dB, also etwa 4 dB mehr als die Zunahme der ERP erwarten lassen würde. Der Grund für diese überproportionale Zunahme könnte allerdings in der Tatsache zu finden sein, dass die provisorische Analogantenne um etwa 40 Meter niedriger montiert war, als die DVB-T-Antenne, so dass die im Mittel bessere "Ausleuchtung" der Straßenzüge der Stadt München Ursache für die überproportionale Zunahme der DVB-T-Feldstärkewerte an den Messpunkten in Bodennähe sein könnte.

In folgendem Bild sind die Unterschiedsfaktoren zwischen "Vor-" und "Nachhermessung", für die 55 Punkte im Stadtbereich von München unter Berücksichtigung der Leistungsreduktion am Olympiaturm dargestellt. Die mittlere Zunahme der Gesamtexposition von 7 dB ist als grüne Linie in das Bild eingezeichnet.

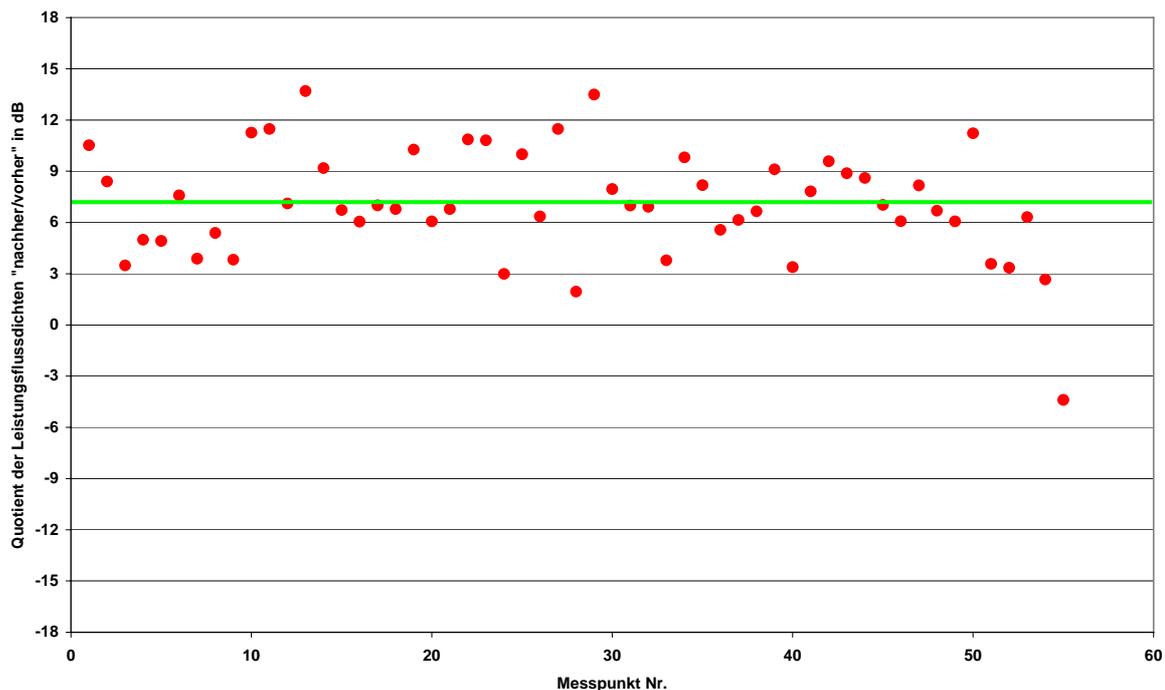


Bild III.2.18: Quotient der Leistungsflussdichtewerte aus "Nach-" und "Vorhermessung" in dB für die 55 Messpunkte im näheren Umfeld von München (Gesamtmission Ton- und Fernsehgrundfunk), jedoch unter Berücksichtigung der reduzierten Sendeleistung am Olympiaturm zum Zeitpunkt der "Vorhermessung"

Fazit:

Ein Vergleich der Ergebnisse der "Vorher-" bzw. "Nachhermessungen" an den 113 Messpunkten in der Region München zeigt eine signifikante Expositionszunahme im näheren Stadtgebiet von München und im Bereich der direkt benachbarten Landkreise bis hin zum Wendelstein (mittlere Zunahme: 6,5 dB). Grund dafür sind einerseits die Zunahme der ERP am Wendelstein und am Olympiaturm durch die Einführung von DVB-T als auch eine veränderte Montagehöhe der Antennen am Olympiaturm im Vergleich zur "Vorhermessung".

In größerer Entfernung zum Olympiaturm bzw. Wendelstein ist keine signifikante Veränderung der Exposition mehr feststellbar.

III.2.7 Zusammenfassung der Messresultate an den 200 "Zufallspunkten"

Wie im letzten Abschnitt erläutert, ist in den Bereichen der Versorgungsklassen "portable outdoor" und "fixed antenna" eine belastbare Auswertung der Expositionsänderung, verursacht durch die Einführung des digitalen TV nicht möglich, da in diesen Regionen derzeit meist noch die Felder der Analog-TV-Grundnetzversorgung dominant sind. Die Messungen zeigten, dass dort bisher noch keine signifikante Veränderung der Immission feststellbar ist. Nur im Bereich "portable indoor" ist bereits ein vollständiger Wechsel von analoger auf digitale Versorgung vollzogen worden. Daher ist es sinnvoll, die Expositionsänderung eingehend nur in den "portable indoor"-Regionen um die Standorte Dillberg, Wendelstein und Olympiaturm München zu analysieren. Auch der Ballungsbereich Nürnberg muss gesondert bewertet werden, da hier mit der Einführung des digitalen TV der Senderstandort um etwa 15 Kilometer in das Stadtgebiet von Nürnberg hinein verlagert wurde. Da sich die Mehrzahl der Messpunkte wegen der bevölkerungsdichtegewichteten Auswahl im Stadtgebiet von Nürnberg und Fürth befanden, führte diese Verlagerung zu einer überproportional hohen Zunahme der Exposition, die nicht allein durch die Veränderung der ERP begründet ist.

Zusammenfassend ist in folgender Tabelle die Veränderung der Exposition für die drei besonders betrachteten "portable indoor"-Regionen dargestellt:

Region	Zahl der Messpunkte	Zunahme der ERP	Mittlere Zunahme TV-Exposition	Mittlere Zunahme der Gesamtexposition
Dillberg	13	5,0 dB	4,5 dB	1,5 dB
Wendelstein	20	11,5 dB	5,9 dB	4,7 dB
München	55	5,1 dB	9,2 dB	7,1 dB

Tabelle III.2.5: Mittlere Veränderung der Exposition (Nachher / Vorher in dB) in den drei besonders betrachteten Untersuchungsteilgebieten im Vergleich zur Veränderung der ERP (Die Tatsache, dass zum Zeitpunkt der "Vorhermessung" die Anlogsender am Olympiaturm bzw. Wendelstein bereits mit reduzierter ERP betrieben wurden, ist in dieser Tabelle bereits berücksichtigt.)

In den drei besonders betrachteten Regionen ergibt sich eine durchschnittliche Zunahme der Exposition durch TV-Signale zwischen 4,5 und 9,2 dB. Da TV-Sender jedoch nur einen Teil der Rundfunk-Expositionsquellen darstellen, und andere Quellen, insbesondere der UKW-Rundfunk, von der Systemumstellung nicht berührt werden, verringert sich bei Betrachtung der mittleren Gesamtexposition im Rundfunkbereich die Exposition auf Faktoren zwischen 1,5 und 7,1 dB.

Die Veränderung der ERP an dem für die betrachtete Region jeweils verantwortliche Senderstandort kann als grober Indikator für die mittlere Expositionsänderung herangezogen werden. In der Region "Dillberg" stimmen ERP-Zunahme und mittlere Expositionsänderung sehr gut überein, während im Bereich "Wendelstein" und "München" mittlere Zunahme und die ERP-Veränderung um 3 bis 4 dB differieren. Offensichtlich haben auch noch andere

Faktoren einen Einfluss auf die Expositionsänderung (wie beispielsweise in München eventuell die Veränderung der Montagehöhe der Sendeantenne).

Will man die hier gefundenen Ergebnisse auf andere Regionen in Deutschland übertragen, gilt das oben Gesagte analog: Nur in den "portable indoor"-versorgten Regionen der derzeit in Deutschland vorhandenen DVB-T-Inseln ist derzeit eine belastbare Aussage über die mittlere Expositionsänderung möglich, da nur dort der Wechsel von analoger auf digitale Versorgung nahezu vollständig stattgefunden hat.

Ein ERP-Vergleich der für die Versorgung verantwortlichen Standorte kann in erster Näherung Aufschluss über eine gegebenenfalls vorhandene Expositionsänderung geben. Für die beiden in Kapitel I.6.1.2 bzw. I.6.1.3 ebenfalls bezüglich der installierten Sendeleistungen analysierten Startregionen Berlin und Bremen/Unterweser ergibt sich dann folgendes Bild:

Im "portable indoor"-Bereich von Berlin (etwa identisch mit dem Berliner Stadtgebiet) wurde nach der DVB-T-Umstellung mit einer etwa 2 dB niedrigeren ERP gearbeitet. Dies bedeutet, dass im Stadtgebiet von Berlin vermutlich im Mittel auch eine leichte Abnahme der Immission stattgefunden hat, allerdings können natürlich einige andere Effekte (z.B. veränderte Montagehöhen der Antennen) diesen Trend noch zusätzlich beeinflussen (in beide Richtungen).

In den "portable indoor"-Bereichen der Region Bremen/Unterweser zeigt sich hingegen ein etwas differenzierteres Bild:

Im Stadtgebiet von Bremen und in Bremerhaven ergibt sich eine um etwa 4 bzw. 3 dB höhere ERP nach der DVB-T-Umstellung, was entsprechend zu einer Erhöhung der mittleren Exposition in diesen beiden Städten führen sollte.

Im Bereich "Steinkimmen" hingegen wurde die abgestrahlte ERP um knapp 2 dB gesenkt, was in dieser Region folglich zu einer reduzierten mittleren Exposition führen sollte.

In Cuxhaven wurde zwar ein digitaler Sender in Betrieb genommen, die dort vorhandenen leistungsstarken Analogsender wurden noch nicht abgeschaltet, so dass dort die ERP und damit auch die mittlere Exposition nahezu konstant geblieben sein sollten.

Zusätzlich darf auch in diesen Regionen nicht vergessen werden, dass noch andere Faktoren als die ERP einen signifikanten Einfluss auf die mittlere Exposition ausüben können.

Die Messergebnisse in Bayern sowie die hier durchgeführten überschlägigen Betrachtungen in anderen Regionen Deutschlands zeigen, dass sowohl eine Zunahme als auch eine Abnahme der mittleren Exposition durch die Einführung von DVB-T in der Umgebung von Senderstandorten möglich ist. Der Vergleich der abgestrahlten ERP kann in erster Näherung aufzeigen, in welche Richtung sich die Immission in der näheren Umgebung eines Senderstandortes bewegt hat.

Nicht in die hier dokumentierten Betrachtungen eingeflossen ist die Tatsache, dass aufgrund der höheren spektralen Effizienz bei DVB-T in einem Analogkanal gleichzeitig vier TV-Programme übertragen werden können, was theoretisch zu einer systembedingten Expositionsverringerung von etwa 6 dB pro Programm führt. Dieser Wert ist allerdings als theoretische Zahl zu sehen, da dieser Effekt nur dann wirksam wird, wenn durch die Einführung von DVB-T die überzähligen Analogkanäle nicht mehr genutzt werden. Die Praxis der DVB-T-Umstellung zeigt jedoch, dass die meisten frei werdenden Analogkanäle im Regelfall mit

DVB-T-Signalen belegt werden (was zu einer Vergrößerung der Zahl an terrestrisch verbreiteten TV-Programmen führt). Die mögliche systembedingte Expositionsverminderung wird also im wesentlichen durch ein gesteigertes Programmangebot kompensiert.

III.2.8 Auswertung der systematischen "Linienmessungen"

Zusätzlich zu den Messungen an den 200 zufällig ausgewählten Messpunkten, wurden noch systematische "Linienmessungen" auf drei verschiedenen Strecken in der Umgebung der Senderstandorte Nürnberg, Dillberg und Wendelstein (insgesamt 47 Messpunkte) durchgeführt. Auch hier wurden sowohl "Vorher" als auch "Nachhermessungen" vorgenommen. Die Resultate dieser Messungen können den folgenden drei Abbildungen entnommen werden.

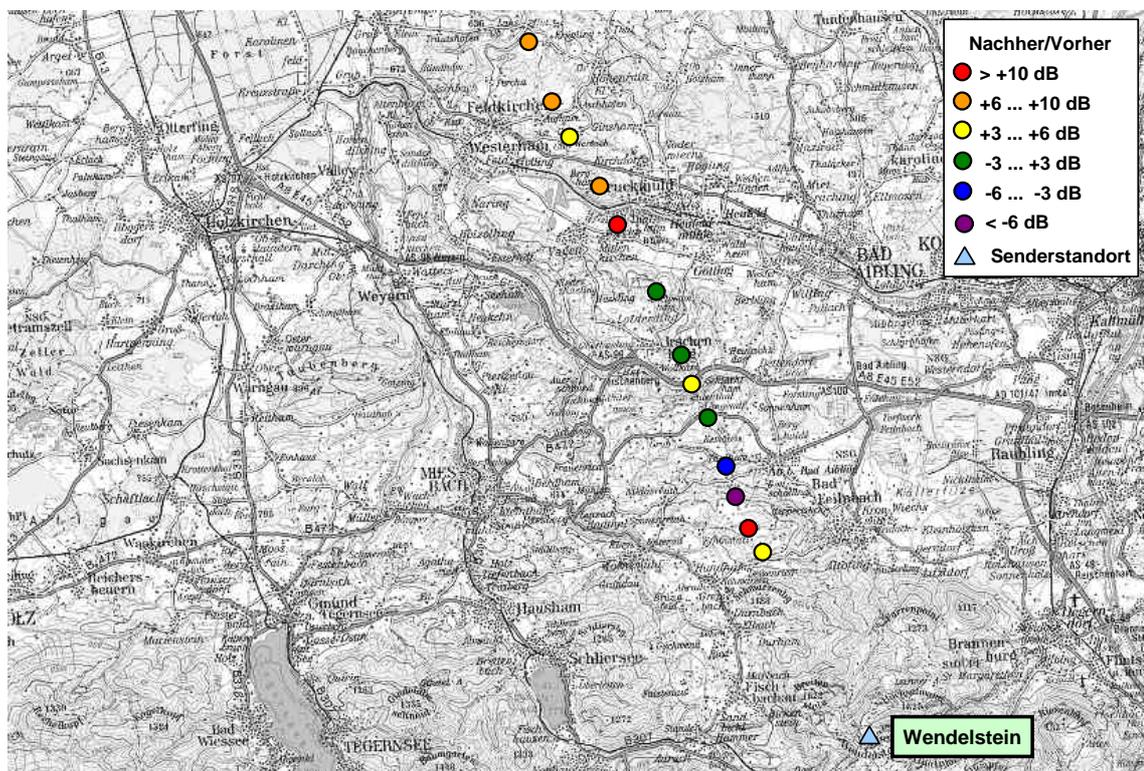


Bild III.2.19: Veränderung der Immission durch analoge bzw. digitale TV-Signale entlang einer etwa 28 km langen radialen Linie vom Fuß des Wendelstein bis Eutenhausen (Quotient der Leistungsflussdichtewerte aus "Nach-" und "Vorhermessung" in dB; Darstellung in sechs Klassen)

Diese "Linienmessung" verdeutlicht nochmals die signifikante Zunahme der mittleren TV-Immission in der Region nördlich des Wendelsteins, allerdings deutlich geringer ausgeprägt, als aufgrund die ERP-Veränderung erwartet (mittlere Zunahme: 2,8 dB).

Alle Messresultate entlang dieser Linie blieben sowohl "vorher" als auch "nachher" unter $100 \mu\text{W}/\text{m}^2$ (nur TV) bzw. $200 \mu\text{W}/\text{m}^2$ (Summe aller Rundfunkdienste).

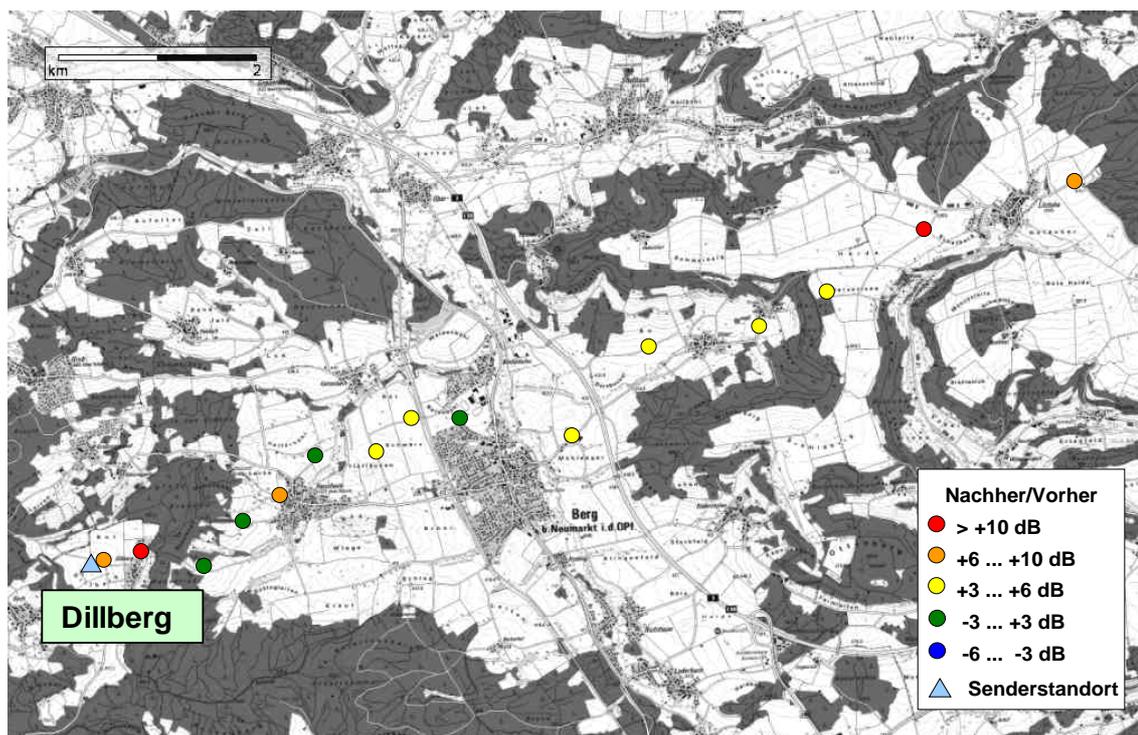


Bild III.2.20: Veränderung der Immission durch analoge bzw. digitale TV-Signale entlang einer etwa 11 km langen radialen Linie vom Dillberg bis Litzlohe (Quotient der Leistungsflussdichtewerte aus "Nach-" und "Vorhermessung" in dB; Darstellung in fünf Klassen)

Diese "Linienmessung" verdeutlicht nochmals, dass die mittlere TV-Immission in der Umgebung des Dillbergs etwa um den Betrag der ERP-Erhöhung (5 dB) zugenommen hat (mittlere Zunahme der Immission: 5,1 dB).

Der größte TV-Messwert ergab sich bei der "Nachhermessung" am Messpunkt mit der zweitgeringsten Entfernung (etwa 500 Meter) zum Sender ($944 \mu\text{W}/\text{m}^2$). Die größte Rundfunk-Gesamtimmission fand sich am sendernächsten Punkt mit $3.790 \mu\text{W}/\text{m}^2$.

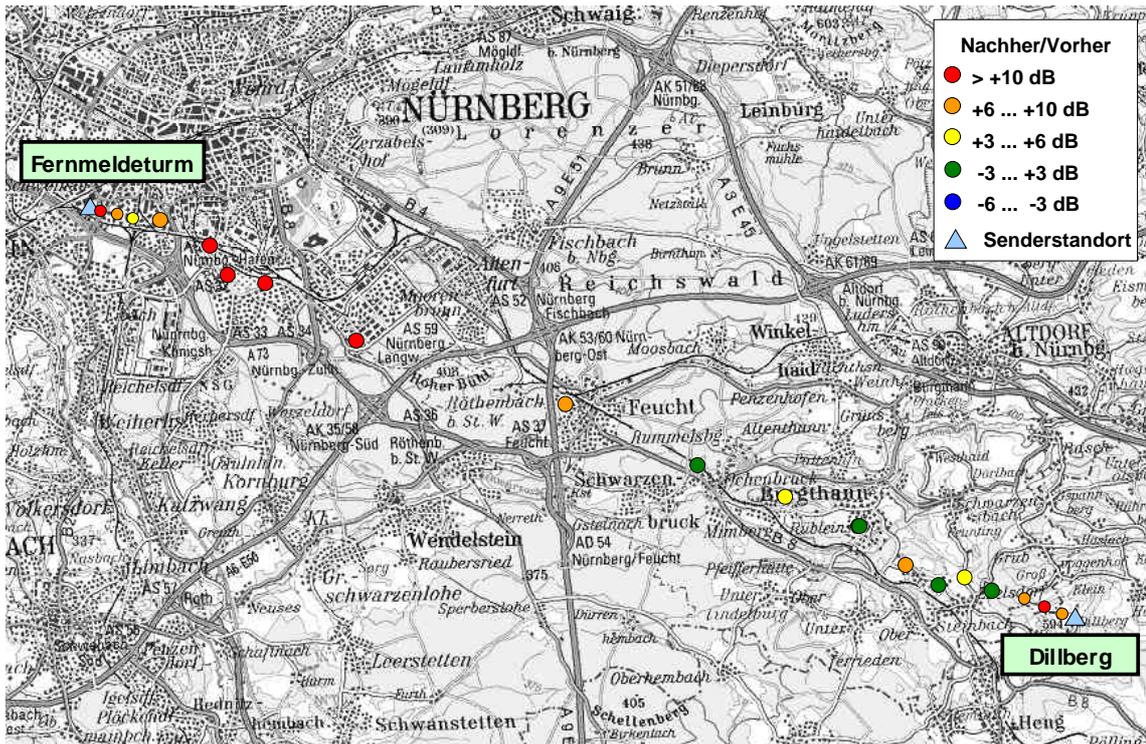


Bild III.2.21: Veränderung der Immission durch analoge bzw. digitale TV-Signale entlang einer etwa 25 km langen Linie vom Dillberg zum Nürnberger Fernmeldeturm (Quotient der Leistungsflussdichtewerte aus "Nach-" und "Vorhermessung" in dB; Darstellung in fünf Klassen)

Hier sieht man nochmals die beiden unterschiedlichen Immissionszustände in der nordbayerischen Region: Während an den Punkten, die sich näher zum Dillberg befinden, eine moderate Zunahme der Immission auftritt, sieht man an den Punkten im Ballungsgebiet Nürnberg wesentlich deutlicher ausgeprägt die Immissionszunahme aufgrund der Verlagerung der TV-Sender von Schwabach an den Nürnberger Fernmeldeturm.

Der größte TV-Messwert ergab sich bei der "Nachhermessung" am Messpunkt mit geringsten Entfernung (etwa 100 Meter) zum Nürnberger Fernmeldeturm (etwa $6.400 \mu\text{W}/\text{m}^2$). Die größte Rundfunk-Gesamtimmission fand sich am gleichen Punkt mit etwa $6.600 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Dieser Punkt stellt damit auch das absolute Maximum der Exposition von allen im Rahmen der hier untersuchten Messpunkte (Flächenmessung, Linienmessung, Gebäudemessung) dar.

Fazit:

Die zusätzlich durchgeführten "Linienmessungen" an den Standorten Nürnberg, Dillberg und Wendelstein unterstützen die bei den Zufallsmesspunkten gefundenen Erkenntnisse bezüglich der Veränderung der Immissionssituation.

III.2.9 Auswertung der Gebäudemessungen

In den folgenden Abschnitten werden Messungen innerhalb von Gebäuden vorgestellt, bei denen zum einen die Höhenabhängigkeit der Immissionen und zum anderen die Dämpfung der zu messenden Signale (verursacht z.B. durch Gebäudewände und Fensterscheiben) untersucht wird.

III.2.9.1 Höhenabhängigkeit der Immission

Aufgrund der vertikalen Abstrahlcharakteristik der TV-Antennen, sowie durch die Abschattungswirkung von Gebäuden und Bäumen, ist im näheren Umfeld der betrachteten Rundfunksender mit einer ausgeprägten Höhenabhängigkeit der Immission zu rechnen. Um diese genauer zu studieren, wurden bei vier Hochhäusern im Stadtgebiet von Nürnberg und München die Immissionen jeweils in verschiedenen Stockwerken messtechnisch erfasst.

Bei der Auswahl der vier Gebäude wurde speziell darauf geachtet, dass sie mit einer ausreichend großen Anzahl an Stockwerken ausgestattet sind und dass zumindest in den oberen Stockwerken eine direkte Sicht zum Senderstandort besteht. Folgende Gebäude wurden untersucht:

Bezeichnung	Beschreibung	Höchstes Stockwerk	Entfernung zum Sender	Nächster Sender
Gebäude 1	Wohnhochhaus in Nürnberg, Neuselsbrunn 53	21. OG	5,6 km	Fernmeldeturm Nürnberg
Gebäude 2	Planungsreferat der Stadt München, Blumenstraße 28b	11. OG	4,8 km	Olympiaturm München
Gebäude 3	Abfallwirtschaftsbetrieb München, Georg-Brauchle-Ring 29	8. OG	1,3 km	Olympiaturm München
Gebäude 4	O ₂ -Zentrale München, Georg-Brauchle-Ring 23-25	8. OG	1,2 km	Olympiaturm München

Tabelle III.2.6: Beschreibung der untersuchten Gebäude

Im Folgenden werden die vier Gebäude aus obiger Tabelle mit Lageplänen und Bildern sowie den Messergebnissen detailliert vorgestellt. Die dokumentierten Messergebnisse stellen dabei die Summenleistungsflussdichte aus allen vermessenen Rundfunkdiensten (UKW, DAB, analoges TV und DVB-T) dar.

Gebäude 1:

Das *Gebäude 1* (Wohnhochhaus, Neuselsbrunn 53) befindet sich im Südosten von Nürnberg in einem vorstädtischen Wohngebiet mit lockerer Hochhausbebauung. Die laterale Entfernung zum Fernmeldeturm Nürnberg beträgt etwa 5,6 km.

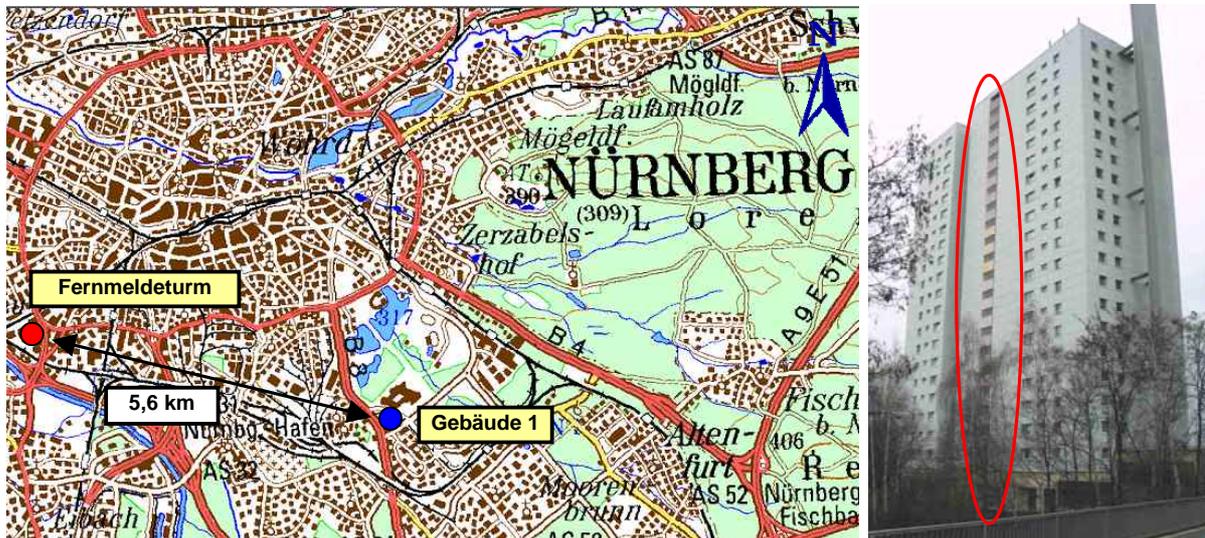


Bild III.2.22: Lage von *Gebäude 1* und des Senderstandortes (links); Außenansicht des Gebäudes mit Markierung der Messpunkte

Gemessen wurde in jedem zweiten der 20 Stockwerke im Treppenhaus, das allerdings eine Vergitterung in Richtung Norden aufweist (siehe Bild III.2.22). Um die "Fassadenwerte" ohne den dämpfenden Einfluss des Gitters zu erhalten, wurde die Empfangsantenne außerhalb der Vergitterung positioniert und die "Schwenkmethode" durchgeführt, d.h. so weit es die Bewegungseinschränkung, verursacht durch das Gitter zuließ, wurde ein möglichst großes Volumen durch Bewegen der Antenne mit verschiedenen Polarisationsausrichtungen abgetastet (siehe Bild III.2.23).

Zusätzlich wurde auf der Dachterrasse (21. OG) und vor dem Gebäude auf Höhe des Erdgeschosses gemessen. Ab dem 5. Stockwerk bestand Sichtverbindung zum Fernmeldeturm Nürnberg. Bei allen darunter liegenden Etagen wurde die Sicht durch andere Gebäude und Bäume verdeckt.



Bild III.2.23: Messung im Treppenhaus außerhalb der Vergitterung und unterhalb des Treppenhauses vor *Gebäude 1*

Im folgenden Bild ist die Verteilung der Summenimmission in den verschiedenen Stockwerken für die "Vorher-" und die "Nachhermessung" dargestellt.

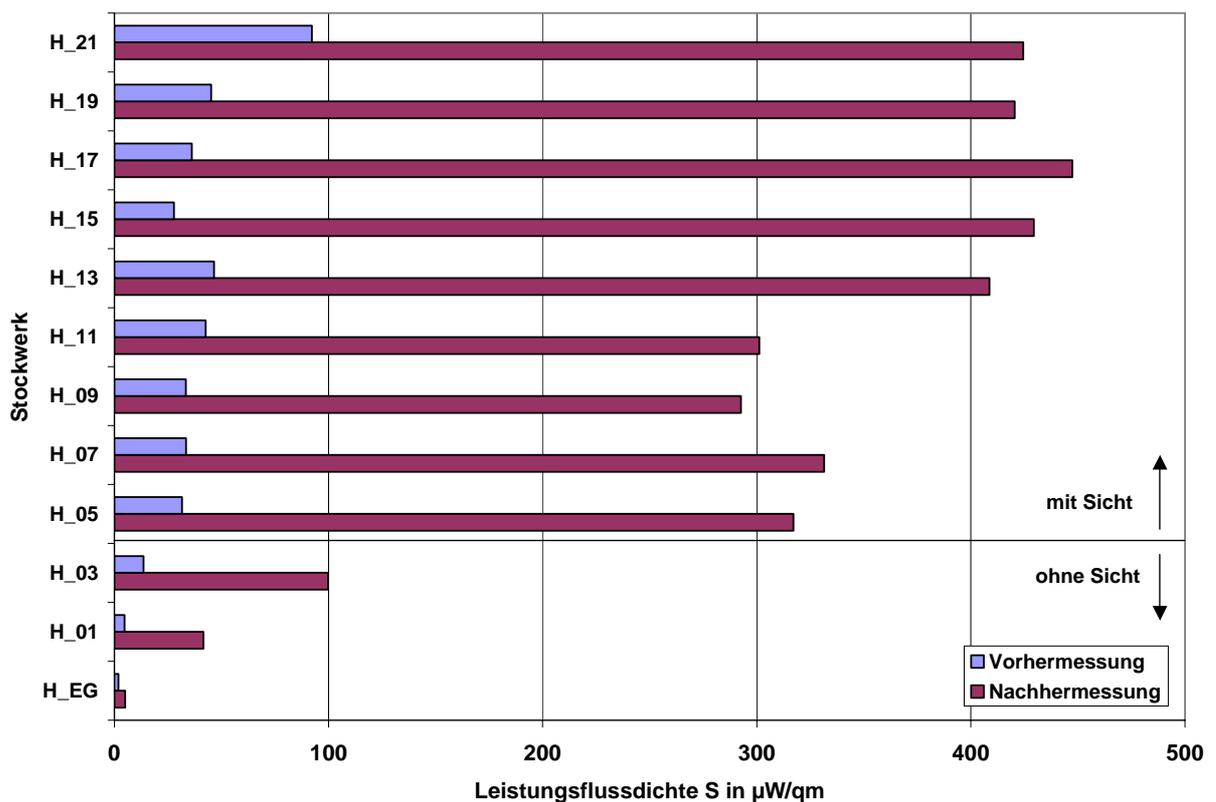


Bild III.2.24: Höhenabhängige Immissionsverteilung ("Vor-" und "Nachhermessung") bei *Gebäude 1*

Der Unterschiedsfaktor zwischen kleinstem und größtem Messwert beträgt bei diesem Gebäude 16,9 dB ("Vorhermessung") bzw. 19,5 dB ("Nachhermessung").

Die Immission nimmt sowohl bei der "Vor-" als auch bei der "Nachhermessung" mit zunehmender Stockwerkshöhe tendenziell zu. Der hier sehr auffällige Größenunterschied zwischen "Vor-" und "Nachhermessung" ist darin begründet, dass im ersten Messdurchgang vom Fernmeldeturm Nürnberg nur regionale Fernsehprogramme mit geringer Sendeleistung abgestrahlt wurden (die Grundnetzsender befanden sich noch auf der Sendeanlage bei Schwabach) während bei der "Nachhermessung" im Zuge des Sendestarts von DVB-T alle Fernsehkanäle nun vom Fernmeldeturm aus betrieben wurden.

Sehr schön ausgeprägt ist der sprunghafte Anstieg der Summenimmission vom dritten zum fünften Obergeschoss aufgrund der ab dort bestehenden Sichtverbindung zum Fernmeldeturm.

Gebäude 2:

Das *Gebäude 2* (Planungsreferat der Stadt München, Blumenstraße 28 b) befindet sich im Zentrum von München mit einer lateralen Entfernung von etwa 4,8 km zum Olympiaturm München.

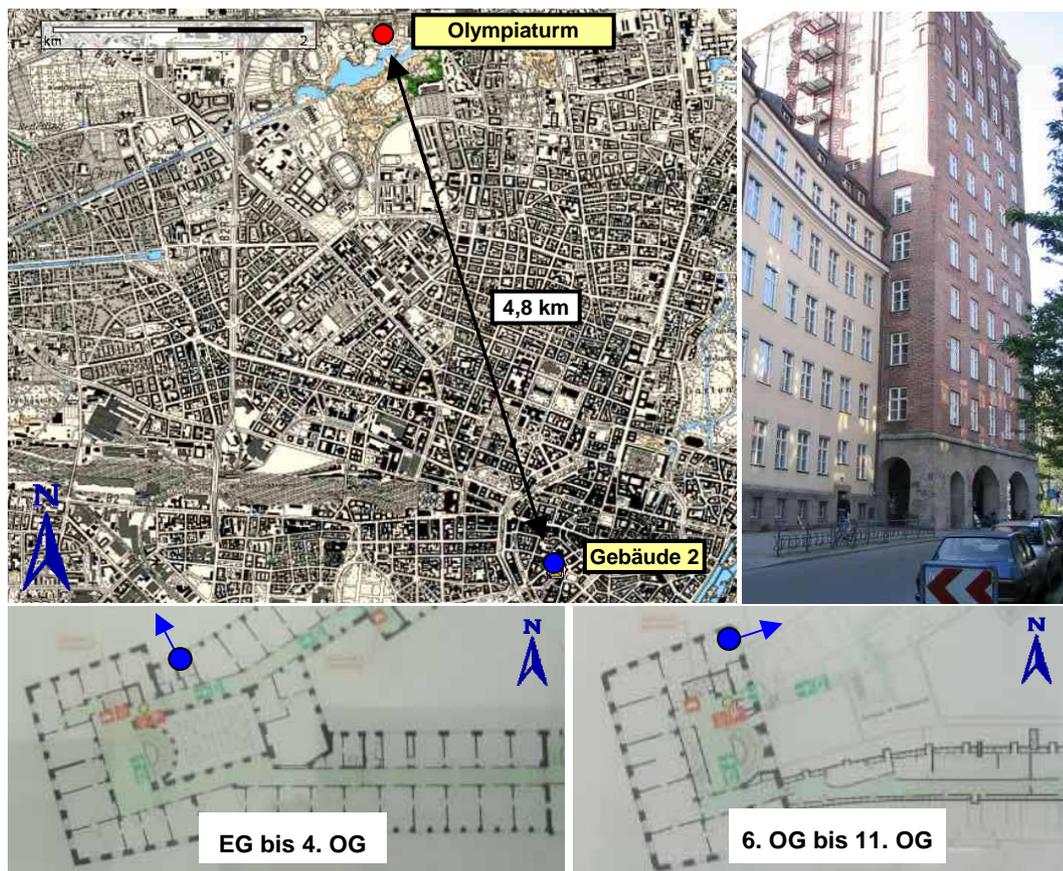


Bild III.2.25: Lage von *Gebäude 2* und des Senderstandortes (links); Außenansicht des Gebäudes (rechts) und Ausrichtung der Messpunkte (Toiletten) mit Öffnungsrichtung der Fenster (unten)

Gemessen wurde in jedem der elf Stockwerke innerhalb der Toilette vor dem geschlossenen Fenster. Im fünften Stockwerk wurde nicht gemessen, da es dort keine vergleichbare Räum-

lichkeit mit offenem Zutritt gab. Die Fenster bis zum vierten Stockwerk sind nach Nordwesten ausgerichtet, ab dem sechsten Stockwerk nach Nordosten.

Vom 7. Stockwerk an bestand Sichtverbindung zum Olympiaturm. Bei allen darunter liegenden Etagen wurde die Sicht durch andere Gebäude verdeckt.



Bild III.2.26: Gebäude 2: Messung in der Toilette (links); Blick vom 11. OG zum Olympiaturm (rechts)

Im folgenden Bild ist die Verteilung der Summenimmission in den verschiedenen Stockwerken für die "Vorher- und die Nachhermessung" dargestellt.

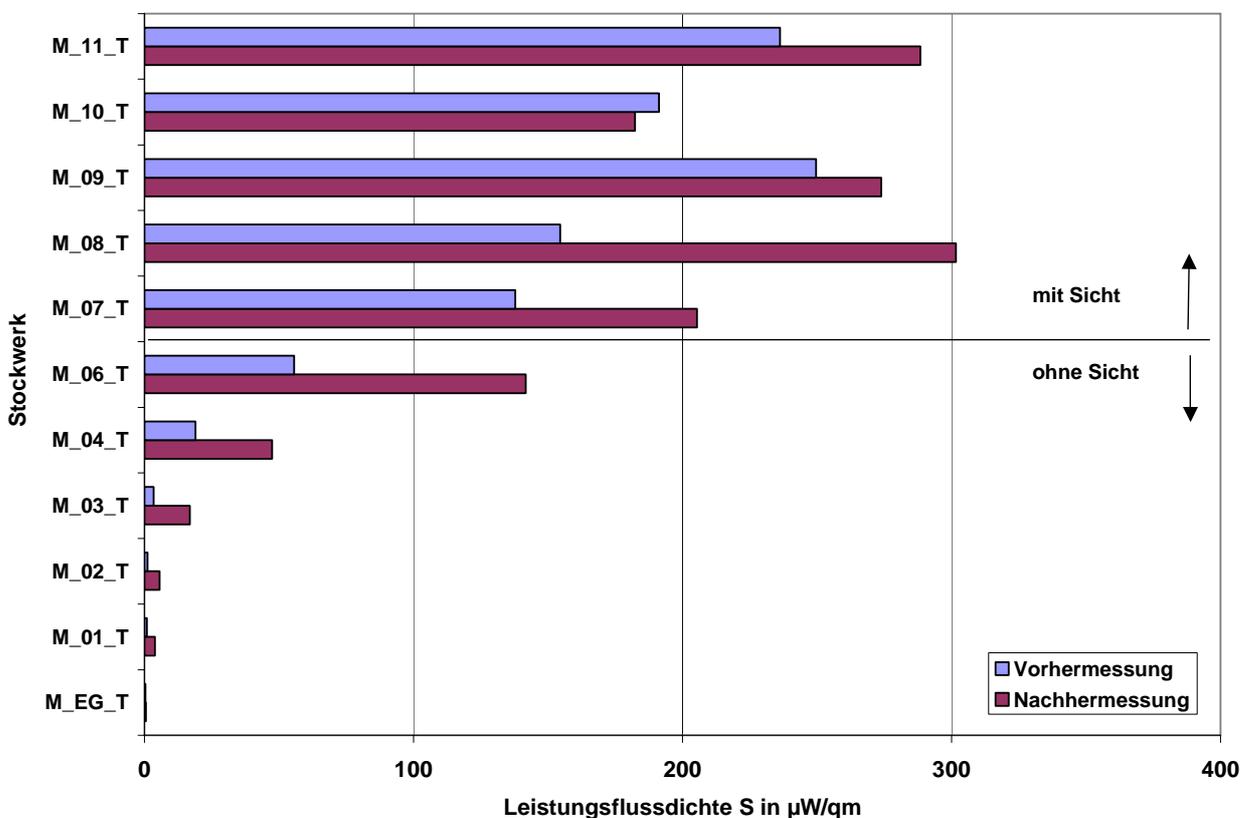


Bild III.2.27: Höhenabhängige Immissionsverteilung ("Vor-" und "Nachhermessung") bei Gebäude 2

An zehn der elf Messpunkte ist eine Zunahme der Immission nach Umstellung auf DVB-T zu beobachten, die allerdings nicht so stark ausgeprägt ist, wie beim Gebäude 1.

Der Unterschiedsfaktor zwischen kleinstem und größtem Messwert beträgt bei diesem Gebäude 28,8 dB ("Vorhermessung") bzw. 27,3 dB ("Nachhermessung") er ist damit deutlich größer als bei *Gebäude 1*.

Die Immission nimmt sowohl bei der "Vorher-" als auch bei der "Nachhermessung" mit zunehmender Stockwerkshöhe zu. Auf der Höhe des zehnten Stockwerkes ist bei beiden Messungen ein "Einbruch" in der gemessenen Leistungsflussdichte zu erkennen. Dieser könnte durch eine Nullstelle im vertikalen Antennendiagramm des Olympiaturms bedingt sein.

Nicht ganz so deutlich ist hier der Anstieg der Summenimmission vom sechsten zum siebten Obergeschoss aufgrund der ab dort bestehenden Sichtverbindung zum Olympiaturm ausgeprägt.

Gebäude 3:

Das *Gebäude 3* (Abfallwirtschaftsbetrieb München, Georg-Brauchle-Ring 29) befindet sich im Nordwesten von München in unmittelbarer Nähe zum Olympiaturm (laterale Entfernung etwa 1,3 km).

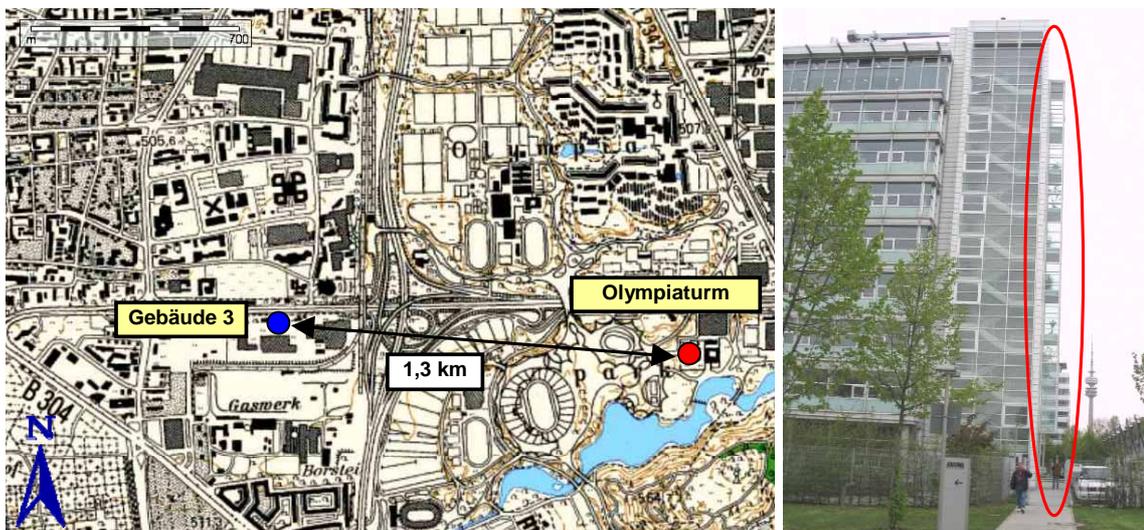


Bild III.2.28: Lage von *Gebäude 3* und des Senderstandortes (links); Westansicht des Gebäudes mit dem Olympiaturm im Hintergrund (rechts)

Das *Gebäude 3* besitzt acht Stockwerke und eine verglaste Front am südlichen Ende des Hauses. Die Empfangsantenne wurde für die Messung aus dem geöffneten Fenster in Richtung Olympiaturm ausgerichtet. Zusätzlich wurde ebenerdig unter der Glasfront außerhalb des Gebäudes eine Messung durchgeführt. An allen Messpunkten bestand Sichtverbindung zum Olympiaturm.



Bild III.2.29: Ostansicht von *Gebäude 3* mit den Messpunkten (links); Messung im südlichen Glasflügel außerhalb der Fenster (rechts)

Im folgenden Bild ist die Verteilung der Summenimmission in den verschiedenen Stockwerken für die "Vorher-" und die "Nachhermessung" dargestellt.

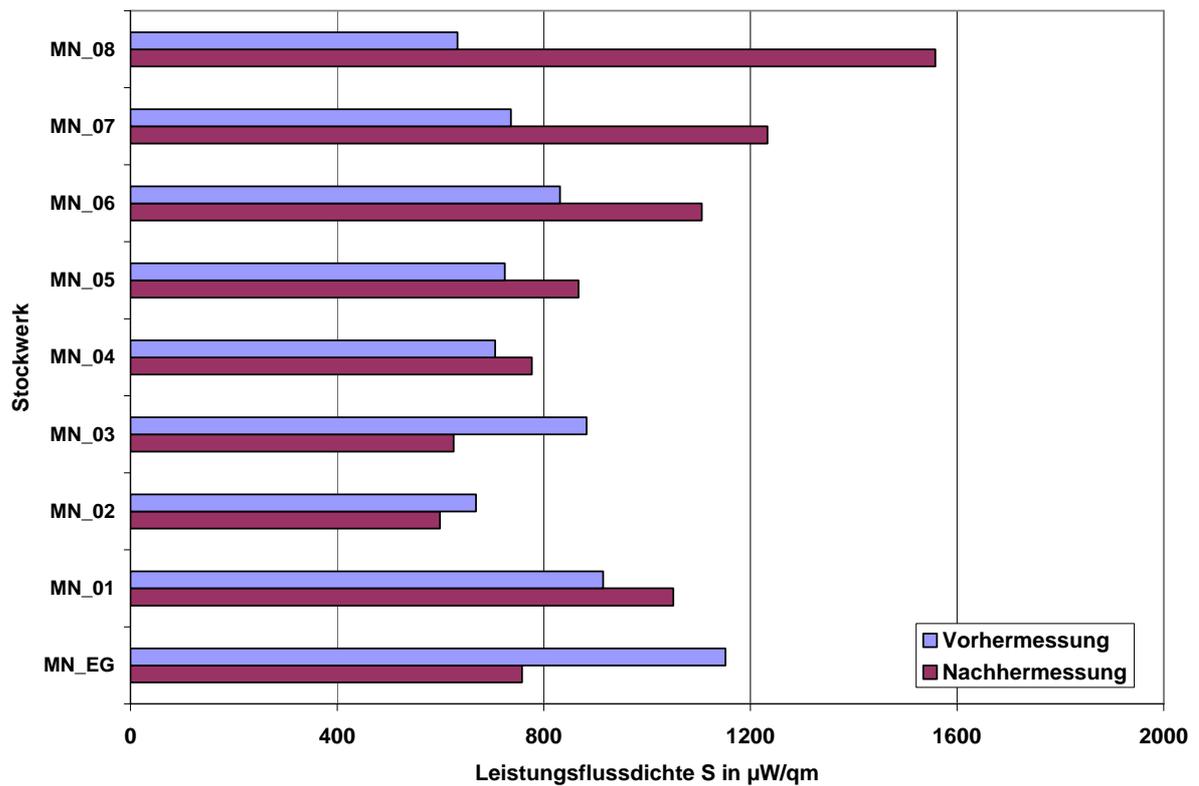


Bild III.2.30: Höhenabhängige Immissionsverteilung ("Vor-" und "Nachhermessung") bei *Gebäude 3*

An sechs der neun Messpunkte ist eine Zunahme der Immission nach Umstellung auf DVB-T zu beobachten, an drei Punkten hingegen eine Abnahme.

Der Unterschiedsfaktor zwischen kleinstem und größtem Messwert beträgt bei diesem Gebäude nur 2,6 dB ("Vorhermessung") bzw. 4,2 dB ("Nachhermessung").

Die Immission zeigt lediglich bei der "Nachhermessung" einen Trend zur Zunahme in den höheren Stockwerken. Bei der "Vorhermessung" wurden am tiefsten Messort (ebenerdig) die höchsten Felder gemessen, die aber über das erste zum zweiten Stockwerk hin abnehmen und sich danach nur noch geringfügig ändern.

Beide Effekte sind vermutlich auf die unterschiedliche Montagehöhe und Abstrahlcharakteristik der Fernsehsendeantennen zurückzuführen.

Gebäude 4:

Das *Gebäude 4* (Zentrale der Firma O₂ (Germany), München, Georg-Brauchle-Ring 23-25) befindet sich im Nordwesten von München in unmittelbarer Nähe zum Olympiaturm (laterale Entfernung etwa 1,2 km).

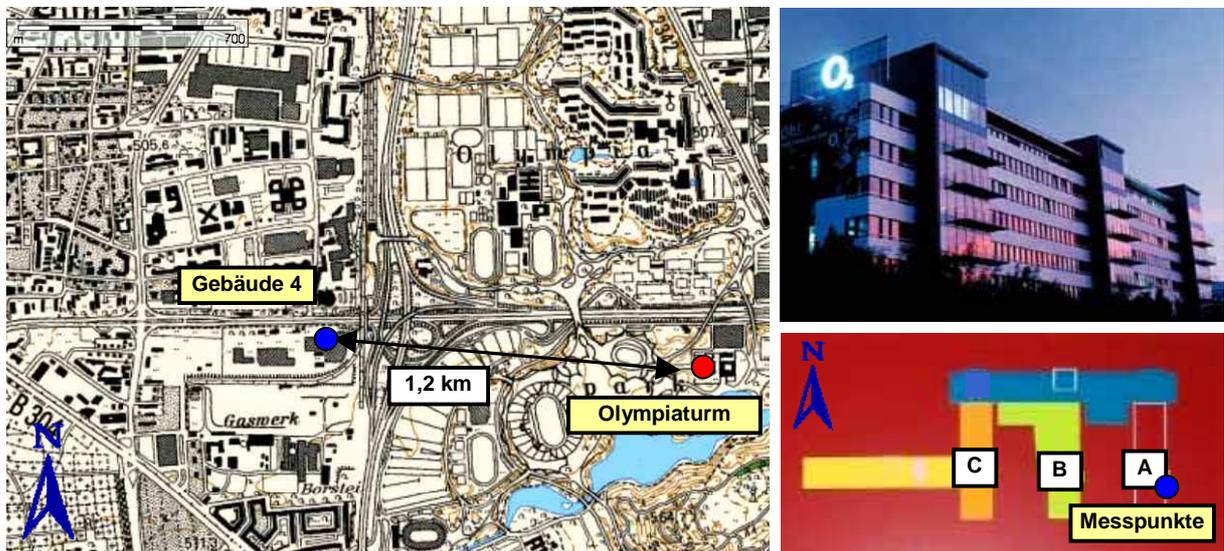


Bild III.2.31: Lage von *Gebäude 4* und des Senderstandortes (links); Nordansicht und Grundriss des Gebäudes mit den Abschnitten A, B und C und der Lage der Messpunkte (rechts)

Das *Gebäude 4* umfasst acht Stockwerke und ist in die Abschnitte A, B und C unterteilt. Für die Messungen wurde das Treppenhaus des östlichsten Abschnittes (A) ausgewählt. Die Etagenbezeichnungen im unten folgenden Diagramm beschreiben das Zwischengeschoss, d.h. die Messpunktbezeichnung o2_A_04 bezieht sich auf das Stockwerk zwischen dem 4. und dem 5.OG. Während der Messungen waren die Fenster geschlossen. Bis auf den Messpunkt o2_A_EG bestand immer Sichtverbindung zum Olympiaturm.



Bild III.2.32: Messung im Treppenhaus von *Gebäude 4*, Abschnitt A (links); Olympiaturm im Hintergrund (rechts)

Im folgenden Bild ist die Verteilung der Summenimmission in den verschiedenen Stockwerken für die "Vorher-" und die "Nachhermessung" dargestellt. Das Ergebnis vom Messpunkt im dritten OG wurde nicht mit einbezogen, da aus der Vorhermessung aufgrund eines Messgerätefehlers keine vollständigen Messdaten vorlagen.

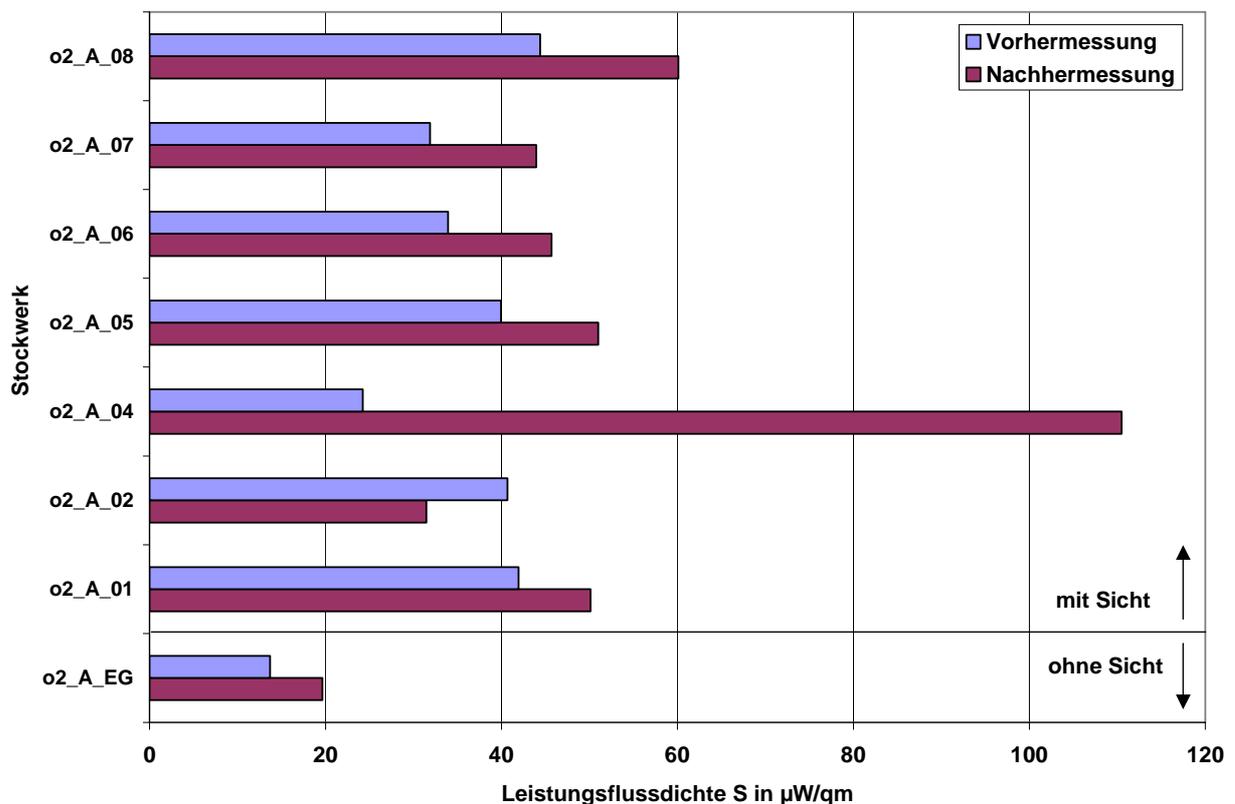


Bild III.2.33: Höhenabhängige Immissionsverteilung ("Vor-" und "Nachhermessung") bei *Gebäude 4*

An sieben der acht Messpunkte ist eine Zunahme der Immission nach Umstellung auf DVB-T zu beobachten, an einem Punkt hingegen eine Abnahme.

Der Unterschiedsfaktor zwischen kleinstem und größtem Messwert beträgt bei diesem Gebäude 5,1 dB ("Vorhermessung") bzw. 4,9 dB ("Nachhermessung").

Die Immissionen der "Vor-" und der "Nachhermessung" bewegen sich aufgrund der geschlossenen Fenster auf sehr niedrigem Niveau und scheinen keiner eindeutigen Höhenabhängigkeit zu unterliegen. Bei der "Nachhermessung" erreicht die Summenimmission im vierten Stockwerk ein singuläres Maximum. Eventuell wurde dies durch ein nicht hundertprozentig verschlossenes Fenster verursacht.

Fazit:

Die in vier dafür geeigneten Hochhäusern in München bzw. Nürnberg durchgeführten Untersuchungen der Höhenabhängigkeit der Immission, verursacht durch die im Abstand von etwa ein bis sechs Kilometer befindlichen Rundfunksendertürme (Olympiaturm bzw. Fernmeldeturm Nürnberg) zeigen die bereits im Rahmen der Messungen an den 200 "Zufallspunkten" festgestellte tendenzielle Erhöhung der Immission nach Einführung von DVB-T (besonders ausgeprägt am Gebäude in Nürnberg). An zwei der vier Gebäude kann eine signifikante Zunahme der Immission in den höheren Stockwerken, verursacht durch die dort vorhandenen günstigeren Sichtverhältnisse zum Sendeturm, nachgewiesen werden. Die Messungen in den beiden Gebäuden mit weniger als 2 Kilometer Abstand zum Olympiaturm zeigen hingegen keine ausgeprägte Höhenabhängigkeit der Immission. Der Grund dafür ist darin zu sehen, dass dort nahezu von allen Punkten aus eine gute Sichtverbindung zum Turm herrscht und auch die Messpunkte in den höheren Stockwerken dieser Gebäude sich noch im Bereich der Nebenkeulen der Rundfunkantennen befinden.

III.2.9.2 Untersuchungen zur Abschätzung der Gebäudedämmung

In diesem Abschnitt soll mittels einfacher Messreihen versucht werden, typische Dämpfungswerte, hervorgerufen durch die Gebäudemauern bzw. die Wände in Innenräumen, zu ermitteln. Dazu wurden bei den durchgeführten Gebäudemessungen verschiedene zusätzliche Szenarien definiert, wie z.B. Messung bei offenem und geschlossenem Fenster oder vergleichende Messungen am Fenster und im Inneren des Gebäudes.

An drei der vier Gebäude, an denen die "Höhenmessungen" durchgeführt wurden, haben diese Messungen zur Bestimmung der Gebäudedämmung stattgefunden (*Gebäude 2*, 3 und 4).

Gebäude 2:

Im *Gebäude 2* (Planungsreferat der Stadt München, Blumenstraße 28 b) wurden, zusätzlich zu den "Fassadenmessungen" in den Toilettenräumen bei geschlossenem Fenster, auch Messungen bei offenem Fenster sowie im Gebäudeinneren durchgeführt. Folgendes Bild gibt einen Eindruck über die Lage der Messpunkte in diesem Gebäude:

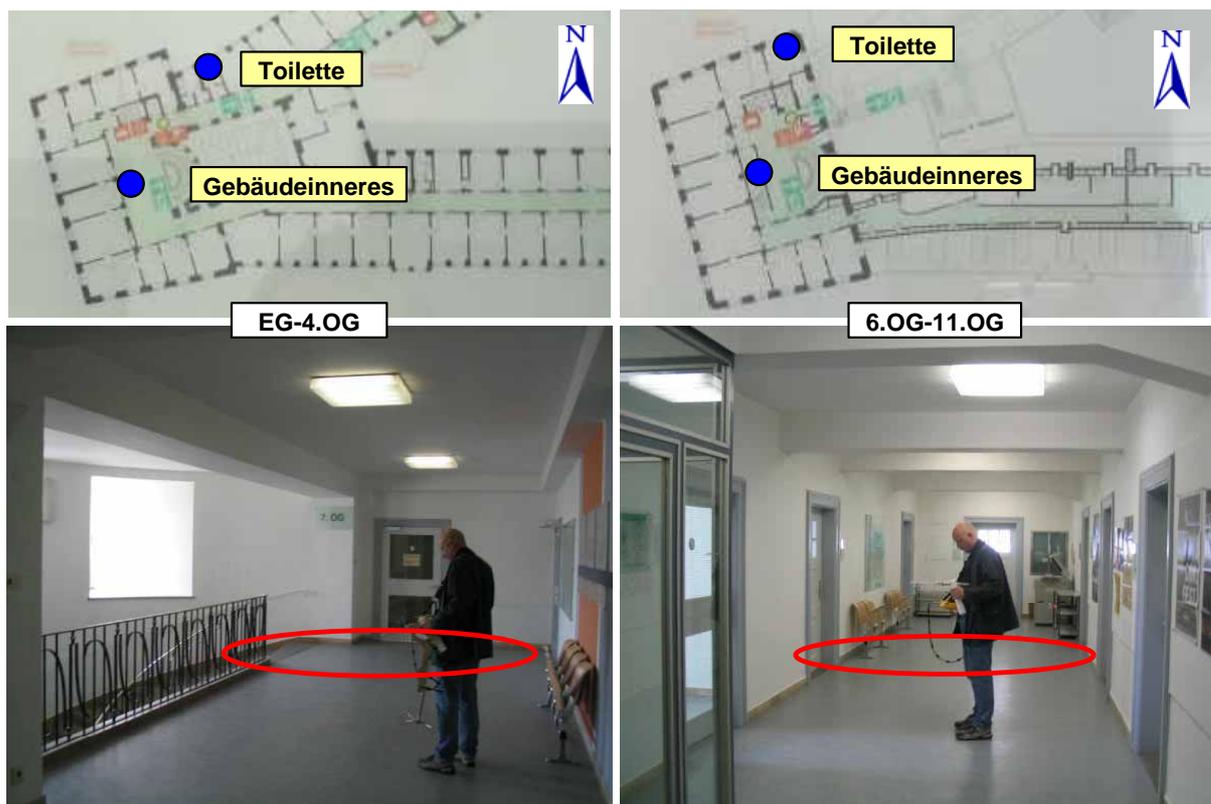


Bild III.2.34: Schematische Darstellung der Messpunkte im Gebäudeinneren und auf den Toiletten in den unterschiedlichen Stockwerken (oben); Messorte im Flur im 7. bzw. im 11. OG (unten) bei *Gebäude 2*

Die Messungen wurden, außer im 5. OG, in allen Stockwerken durchgeführt, aus den Einzelergebnissen in dB wurde jeweils der lineare Mittelwert berechnet. Die Fensterdämpfung wurde nur in einem Stockwerk (11. OG) bestimmt.

In der folgenden Tabelle ist die Abschwächung der gemessenen Signale in dB zwischen Toilette und Gebäudeinnerem sowie zwischen offenem und geschlossenem Fenster dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass hier die Summenimmissionen aus allen Funkdiensten (Frequenzbereich etwa 100 bis 800 MHz) mit einander verglichen werden und daher ein "mittlerer Dämpfungswert" für das vorhandene "Frequenzgemisch" entsteht. Es wurde bewusst auf eine frequenzselektive Auswertung der Dämpfung verzichtet, da dafür wesentlich umfangreichere Messreihen notwendig wären.

"gedämpfter" Messort	"ungedämpfter" Messort	Stockwerk	Mittlere Dämpfung
Gebäudeinneres, Flur ("Vorhermessung")	Toilette, Fenster geschlossen ("Vorhermessung")	EG - 11.OG	12,5 dB
Gebäudeinneres, Flur ("Nachhermessung")	Toilette, Fenster geschlossen ("Nachhermessung")	EG - 11.OG	12,6 dB
Toilette, Fenster geschlossen ("Vorhermessung")	Toilette, Fenster offen ("Vorhermessung")	11.OG	2,1 dB
Toilette, Fenster geschlossen ("Nachhermessung")	Toilette, Fenster offen ("Nachhermessung")	11.OG	0,4 dB

Tabelle III.2.7: Dämpfungswerte in *Gebäude 2*

Durch die Umbauung werden im Inneren von *Gebäude 2* die gemessenen Signale im Mittel um etwa 12,5 dB abgeschwächt (Einzelwerte zwischen 10 und 22 dB). Die Dämpfung des relativ alten Fensters in den Toiletten ist relativ gering und liegt offensichtlich unter 3 dB.

Gebäude 3:

Im *Gebäude 3* (Abfallwirtschaftsbetrieb München, Georg-Brauchle-Ring 29) wurden bei den Untersuchungen in der südlichen Glasfront zusätzlich zu den Messungen bei offenem Fenster auch Messungen bei geschlossenem Fenster und im Gebäudeinneren durchgeführt.

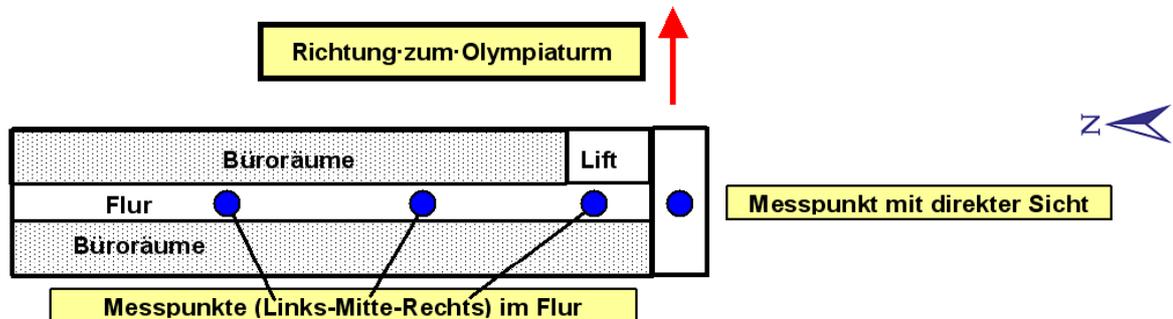


Bild III.2.35: Schematische Darstellung von *Gebäude 3*, Lage der Messpunkte im Gebäudeinneren und in der südlichen Glasfront



Bild III.2.36: Messpunkte 8. OG_Links, 5. OG_Mitte und 3. OG_Rechts bei *Gebäude 3*

Die Messungen wurden in mehreren Stockwerken durchgeführt, aus den Einzelresultaten in dB wurde jeweils der lineare Mittelwert berechnet. Die Fensterdämpfung wurde nur in einem Stockwerk (8. OG) bestimmt.

In der folgenden Tabelle ist die mittlere Abschwächung der gemessenen Signale in dB zwischen dem südlichsten Messpunkt (in der Glasfront) und den Orten im Gebäudeinnerem sowie der Vergleich zwischen offenem und dem geschlossenem Fenster dokumentiert.

"gedämpfter" Messort	"ungedämpfter" Messort	Stockwerk	Mittlere Dämpfung
Gebäudeinneres, Flur ("Vorhermessung")	Glasfront, Fenster geschlossen ("Vorhermessung")	1., 3., 5. und 8.OG	27,9 dB
Gebäudeinneres, Flur ("Nachhermessung")	Glasfront, Fenster geschlossen ("Nachhermessung")	2., 5. und 8.OG	30,3 dB
Glasfront, Fenster geschlossen ("Nachhermessung")	Glasfront, Fenster offen ("Nachhermessung")	8.OG	21,2 dB

Tabelle III.2.8: Dämpfungswerte in *Gebäude 3*

Durch die Umbauung werden im Inneren des *Gebäudes 3* die gemessenen Signale im Mittel um etwa 28 bis 30 dB abgeschwächt (Einzelwerte zwischen 17 und 41 dB). Die Gebäudedämpfung ist hier also deutlich stärker ausgeprägt als bei *Gebäude 2*. Die Dämpfung des modernen, metallbedampften Thermofensters ist ebenfalls mit etwa 20 dB deutlich größer.

Gebäude 4:

Im *Gebäude 4* (Zentrale der Firma O₂ (Germany), München, Georg-Brauchle-Ring 23-25) wurden neben den Messungen in Gebäudeabschnitt A (direkte Sicht zum Olympiaturm) auch Messungen in den dahinter liegenden Gebäudeabschnitten B und C sowie Messungen bei offenem und geschlossenem Fenster durchgeführt, um auch die Abschattungswirkung von Gebäuden zu studieren.

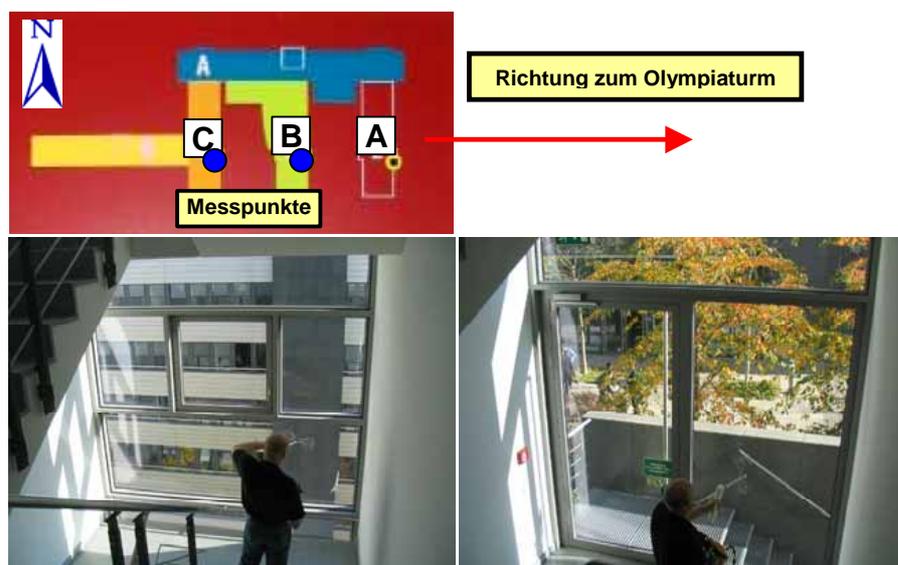


Bild III.2.37: Schematische Darstellung von *Gebäude 4* mit Lage der Messpunkte (oben); Messpunkte in den Abschnitten B und C

Die Messungen wurden jeweils in zwei Stockwerken durchgeführt, aus den Einzelresultaten in dB wurde jeweils der lineare Mittelwert berechnet. Die Fensterdämpfung wurde nur in einem Stockwerk (8. OG) bestimmt.

In der folgenden Tabelle ist die Abschwächung der gemessenen Signale in dB zwischen dem Messpunkt des gleichen Stockwerkes im Abschnitt A und dem jeweiligen Punkt in den Abschnitten B und C sowie der Vergleich von offenem und geschlossenem Fenster dargestellt.

"gedämpfter" Messort	"ungedämpfter" Messort	Stockwerk	Mittlere Dämpfung
Abschnitt B, Treppenhaus ("Vorhermessung")	Abschnitt A, Treppenhaus ("Vorhermessung")	EG und 6.OG	7,6 dB
Abschnitt C, Treppenhaus ("VorhermessungC")	Abschnitt A, Treppenhaus ("Vorhermessung")	EG und 6.OG	6,6 dB
Abschnitt B, Treppenhaus ("Nachhermessung")	Abschnitt A, Treppenhaus ("Nachhermessung")	EG und 6.OG	7,5 dB
Abschnitt C, Treppenhaus ("Nachhermessung")	Abschnitt A, Treppenhaus ("Nachhermessung")	EG und 6.OG	6,6 dB
Abschnitt A, Treppenhaus, Fenster geschlossen ("Vorhermessung")	Abschnitt A, Treppenhaus, Fenster offen ("Vorhermessung")	8.OG	12,4 dB
Abschnitt A, Treppenhaus, Fenster geschlossen ("Nachhermessung")	Abschnitt A, Treppenhaus, Fenster offen ("Nachhermessung")	8.OG	10,5 dB

Tabelle III.2.9: Dämpfungswerte in *Gebäude 4*

Im Abschnitt B werden die Signale vom etwa 1,2 km entfernten Olympiaturm durch den davor liegenden Gebäudeabschnitt A um etwa 7,5 dB abgeschwächt, im Abschnitt C um etwa 6,6 dB. Überraschenderweise scheint die Dämpfung im Abschnitt B, bei dem nur ein Gebäude (Abschnitt A) die Signalausbreitung hindert, etwas höher zu sein als im Abschnitt C, obwohl hier zwei Gebäude (Abschnitt A und B) zwischen ihm und dem Olympiaturm liegen. Dieses Ergebnis sollte jedoch nicht überbewertet werden, da sich das gesamte Gebäude im Bereich der vertikalen Nebenkeulen des Olympiaturms befindet und daher auch diagrammabhängige Immissionsschwankungen den Abschattungseffekten überlagert sein können. Auch Reflexionen an anderen Gebäudeteilen sind als Ursache für die geringere Dämpfung in Abschnitt C denkbar.

Die Dämpfung der Fenster liegt hier mit etwa 10,5 bzw. 12 dB zwischen den Ergebnissen in den beiden anderen untersuchten Gebäuden.

Fazit

Die exemplarischen Untersuchungen zur Dämpfung durch Gebäudemauern an drei Gebäuden in München brachten teilweise sehr unterschiedliche Resultate: Der mittlere Unterschied zwischen dem Messwert an der Gebäudefassade und dem Wert im Gebäudeinneren betrug bei einem Gebäude zirka 12 dB, während die Dämpfung des zweiten untersuchten Gebäudes mit etwa 30 dB deutlich stärker ausgeprägt war. Die unterschiedlichen Dämpfungswerte sind vermutlich im wesentlichen durch die unterschiedlichen Baumaterialien und Fensterdämpfungen bedingt. Eine Untersuchung bezüglich der Abschattungswirkung von großen Gebäudeteilen brachte eine Dämpfung von etwa 7 dB. Hier verhindern vermutlich Reflexionen und Beugungseffekte eine bessere Ausprägung der Schattenzone. Die drei untersuchten Fenster brachten mit 3, 10 und 21 dB ebenfalls sehr unterschiedliche Dämpfungswerte. Hier ist offensichtlich die Metallbedampfung der Scheiben sowie das Material der Fensterrahmen hauptsächlich ausschlaggebend für die entstehende Dämpfung.

III.2.10 Zusammenfassende Bewertung

Als wesentliche Ergebnisse der hier durchgeführten umfangreichen Expositionsmessungen bezüglich Rundfunksignalen in den bayerischen DVB-T-Startregionen "München" und "Nürnberg" können folgende Punkte festgehalten werden.

- Die gefundenen Expositionswerte besitzen eine große Spannweite bezüglich ihrer absoluten Höhe von mehr als 50 dB. Bezüglich der Grenzwertausschöpfung ergab sich am Punkt mit den höchsten Summenimmissionen ein leistungsflussdichtebezogener Ausschöpfungsgrad von nur etwa 3 Promille (Punkt aus der "Linienmessung" Nürnberg - Dillberg).
- Analysiert man die statistische Verteilung der Resultate beider Messkampagnen, so ergibt sich eine mittlere Zunahme der festgestellten Expositionswerte. Allerdings ist die Situation in den beiden untersuchten Regionen nicht gleich, sondern es zeigen sich Unterschiede bezüglich der Höhe der Veränderung. Außerdem ist zu beachten, dass die offensichtlich in den beiden betrachteten Regionen tatsächlich vorhandene mittlere Expositionsänderung durch die Resultate an den Messpunkten der Versorgungsklassen 2 (portable outdoor) und 3 (fixed antenna) abgeschwächt wird. Nur in den "portable indoor"-versorgten Regionen ist derzeit eine belastbare Aussage über die mittlere Expositionsänderung möglich, da nur dort der Wechsel von analoger auf digitale Versorgung nahezu vollständig stattgefunden hat. Wie sich die Expositionssituation in den Randregionen ändern wird, wenn die dort derzeit noch vorhandenen Analogsender auf digital umgestellt worden sind, kann derzeit nicht gesagt werden, denn die Änderung hängt davon ab, ob die zukünftige Leistung der dortigen Digitalsender höher oder niedriger als die bisherige Analleistung sein wird.
- Ein Vergleich der Ergebnisse der "Vor-" bzw. "Nachhermessungen" an den 87 Messpunkten in der Region Nürnberg zeigt eine deutliche Zunahme der Gesamtexposition im Bereich der Stadtgebiete Nürnberg / Fürth / Erlangen (mittlere Zunahme: 6,8 dB). Grund dafür ist die Verlagerung der TV-Sender im Rahmen der Umstellung auf DVB-T vom Hei-

denberg südlich Schwabach zum Fernmeldeturm Nürnberg. Im Bereich "Dillberg" ist nur eine moderate Expositions Zunahme von 1,5 dB feststellbar. Die Messpunkte außerhalb der Versorgungsklasse "portable indoor" zeigen keine signifikante Veränderung der mittleren Gesamtexposition.

- Ein Vergleich der Ergebnisse der "Vorher-" bzw. "Nachhermessungen" an den 113 Messpunkten in der Region München zeigt eine signifikante Immissionszunahme im Stadtgebiet von München und im Bereich der direkt benachbarten Landkreise bis hin zum Wendelstein. Grund dafür sind einerseits die Zunahme der ERP am Wendelstein und am Olympiaturm durch die Einführung von DVB-T als auch eine veränderte Montagehöhe der Antennen am Olympiaturm im Vergleich zur "Vorhermessung". In größerer Entfernung zum Olympiaturm bzw. Wendelstein ist keine signifikante Veränderung der Exposition mehr feststellbar.
- Die Veränderung der ERP an dem für die betrachtete Region jeweils verantwortliche Senderstandort kann als grober Indikator für die mittlere Expositionsänderung herangezogen werden. In der Region "Dillberg" stimmen ERP-Zunahme und mittlere Expositionsänderung sehr gut überein, während im Bereich "Wendelstein" und "München" mittlere Expositions Zunahme und ERP-Veränderung um 3 bis 4 dB differieren. Offensichtlich haben auch noch andere Faktoren einen Einfluss auf die Expositionsänderung (wie beispielsweise in München die Veränderung der Montagehöhe der Sendeantenne).
- Will man die hier gefundenen Ergebnisse auf andere Regionen in Deutschland übertragen, gilt das oben gesagte analog: Nur in den "portable indoor"-versorgten Regionen der aktuell in Deutschland vorhandenen DVB-T-Inseln ist derzeit eine belastbare Aussage über die mittlere Expositionsänderung möglich, da nur dort der Wechsel von analoger auf digitale Versorgung nahezu vollständig stattgefunden hat. Ein ERP-Vergleich der für die Versorgung verantwortlichen Standorte kann in erster Näherung Aufschluss über eine gegebenenfalls vorhandene Expositionsänderung geben. Zusätzlich sollte jedoch nie vergessen werden, dass noch andere Faktoren als die ERP einen signifikanten Einfluss auf die mittlere Exposition ausüben können.
- Die Messergebnisse in Bayern zeigen eine Zunahme der mittleren Exposition in den "portable-indoor"-versorgten Bereichen um die Senderstandorte durch die Einführung von DVB-T auf. Dies muss jedoch nicht in allen Regionen Deutschlands, in denen bereits auf DVB-T umgestellt wurde, so der Fall sein, denn die beispielhaft durchgeführten überschlüssigen ERP-Betrachtungen für zwei andere Regionen Deutschlands zeigten, dass, abhängig von der ERP der Digitalsender im Vergleich zu den abgeschalteten Analogsendern, sowohl eine Zunahme als auch eine Abnahme der mittleren Exposition durch die Einführung von DVB-T in der Umgebung von Senderstandorten möglich ist.
- Ein Vergleich zwischen UKW- und DAB-Signalen ergibt eine deutliche Dominanz der UKW-Signale (Unterschiedsfaktor im Mittel größer als 10 dB). Zukünftig vorgesehene Leistungserhöhungen bei DAB zur Gewährleistung einer zuverlässigeren Indoorversorgung werden diesen aktuellen Unterschied allerdings verkleinern.
- Die zusätzlich durchgeführten "Linienmessungen" an den Standorten Nürnberg, Dillberg und Wendelstein unterstützen die bei den Zufallsmesspunkten gefundenen Erkenntnisse bezüglich der Veränderung der TV-Immissionssituation.

- Die in vier Hochhäusern durchgeführten Untersuchungen der Höhenabhängigkeit der Immission, verursacht durch die im Abstand von etwa ein bis sechs Kilometer befindlichen Rundfunksendetürme zeigen ebenfalls die tendenzielle Erhöhung der Immission nach Einführung von DVB-T. An zwei der vier Gebäude konnte außerdem eine signifikante Zunahme der Immission in den höheren Stockwerken, verursacht durch die dort vorhandenen günstigeren Sichtverhältnisse zum Sendeturm, nachgewiesen werden. Die Messungen in den beiden Gebäuden mit weniger als 2 Kilometer Abstand zum Olympiaturm zeigen hingegen keine ausgeprägte Höhenabhängigkeit der Immission.
- Die exemplarischen Untersuchungen zur Dämpfung durch Gebäudemauern an drei Gebäuden brachten teilweise sehr unterschiedliche Resultate: Der mittlere Unterschied zwischen dem Messwert an der Gebäudefassade und dem Wert im Gebäudeinneren betrug bei einem Gebäude zirka 12 dB, während die Dämpfung des zweiten untersuchten Gebäudes mit etwa 30 dB deutlich stärker ausgeprägt war. Die unterschiedlichen Dämpfungswerte sind vermutlich im wesentlichen durch die unterschiedlichen Baumaterialien und Fensterdämpfungen bedingt. Eine Untersuchung bezüglich der Abschattungswirkung von großen Gebäudeteilen brachte eine Dämpfung von etwa 7 dB. Hier verhindern vermutlich Reflexionen und Beugungseffekte eine bessere Ausprägung der Schattenzone. Die drei untersuchten Fenster brachten mit 3, 10 und 21 dB ebenfalls sehr unterschiedliche Dämpfungswerte. Hier ist offensichtlich die Metallbedampfung der Scheiben sowie das Material der Fensterrahmen hauptsächlich ausschlaggebend für die entstehende Dämpfung.

III.3 Langzeitmessungen

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit Langzeitmessungen. Hierzu wurden an mehreren Messpunkte die Immissionen von analogem TV, DVB-T, UKW und DAB über einen Zeitraum von 24 Stunden aufgenommen. Durch diese Vorgehensweise können mögliche Immissionschwankungen quantifiziert werden.

III.3.1 Colonius in Köln

Der Messpunkt befindet sich in einem lateralen Abstand von ungefähr 400 m zum Standort Colonius in Köln. Die Messeinrichtung wurde in einer Wohnung im dritten Obergeschoss aufgebaut. Es bestand *direkte Sicht* zum Sender. In Bild III.3.1 ist die Lage und der Sendeturm zu sehen.



Bild III.3.1: Lage von Sender und Messort; Sender Colonius

Vom Colonius werden insgesamt 6 digitale Fernsehkanäle und ein UKW-Kanal abgestrahlt. Im weiteren werden die Messergebnisse für beide Funksysteme getrennt dargestellt. Bezüglich der DVB-T Kanäle ist der Vollständigkeit halber noch folgender Sachverhalt zu erwähnen: Da die Verbreitung des digitalen Fernsehens auf einem Gleichwellennetz beruht, überlagern sich die Signale von mehreren Senderstandorten an einem Punkt und eine exakte Zuordnung der Immission zu einem Sender ist daher generell nicht möglich. Die gemessene Immission wird dennoch nur dem Senderstandort Colonius zugeordnet, da dessen Anteil aufgrund des geringen Abstandes gegenüber den übrigen Standorten dominiert.

Während des Messzeitraumes gab es Phasen mit Aufenthalt und Phasen ohne Aufenthalt von Personen (mit entsprechender Bewegung) in der Nähe der Messeinrichtung. In

Bild III.3.2 ist der Immissionsverlauf über 24 Stunden exemplarisch für einen digitalen Fernsehkanal dargestellt.

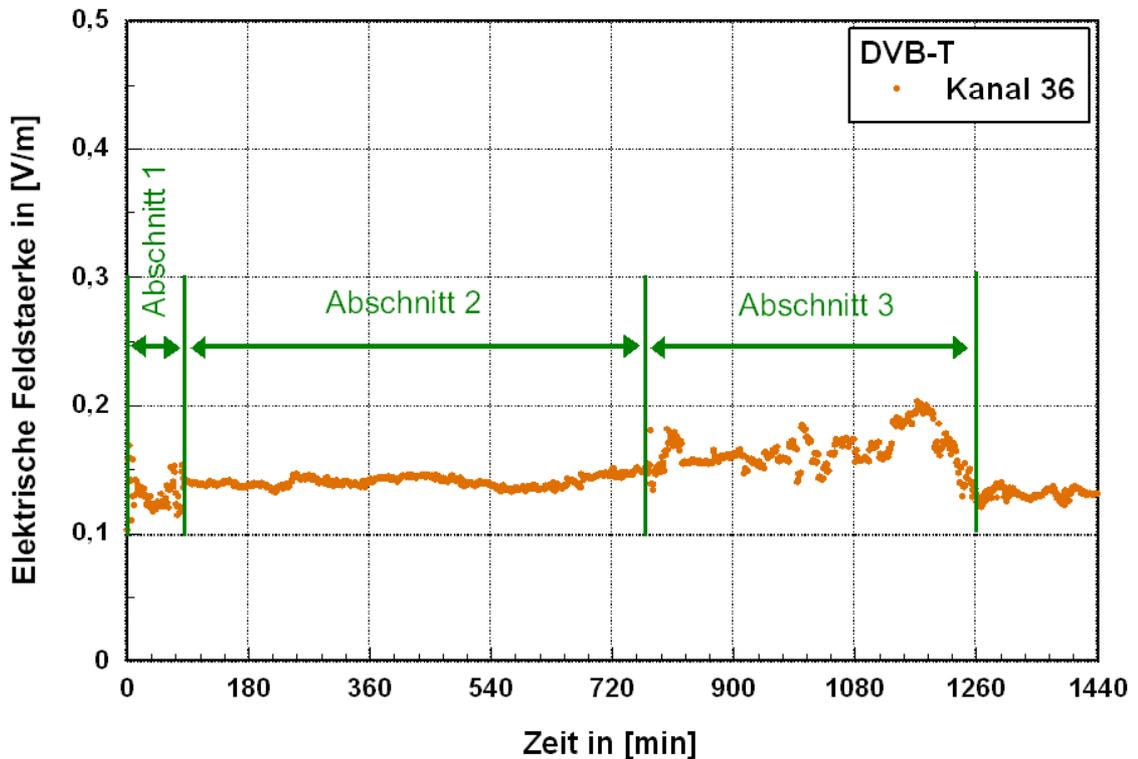


Bild III.3.2: Feldstärkeverlauf für DVB-T mit direkter Sicht zum Sender

Aus Bild III.3.2 lassen sich folgende drei Zeitabschnitte mit unterschiedlichem Immissionsverlauf herausfiltern:

- Abschnitt 1: Aufenthalt von mehreren Personen innerhalb des Raumes
- Abschnitt 2: Kein Aufenthalt von Personen innerhalb des Raumes
- Abschnitt 3: Aufenthalt einer Person (nachts) innerhalb des Raumes (die Schlafstätte befand sich wenige Meter entfernt vom Messgerät)

Die zahlenmäßigen Feldstärkeschwankungen in den jeweiligen Zeitabschnitten sind in folgender Tabelle zu sehen. Hiermit ist die Spannweite zwischen maximal und minimal gemessenem Feldstärkewert in dB gemeint.

	Beschreibung	Feldstärkeschwankung in [dB]
Abschnitt 1	Aufenthalt von Personen im Raum (tagsüber)	4,3
Abschnitt 2	Kein Aufenthalt von Personen im Raum	1,1
Abschnitt 3	Aufenthalt von Personen im Raum (nachts)	4,0

Tabelle III.3.1: Feldstärkeschwankungen für DVB-T in den verschiedenen Zeitabschnitten

Die Immissionsschwankungen werden demnach hauptsächlich durch den Aufenthalt der Personen in der Nähe der Messeinrichtung hervorgerufen und können nicht einer anlagenseitigen Ursache zugeordnet werden. Die geringen Feldstärkeschwankungen im Zeitabschnitt 2 liegen möglicherweise in den Witterungsbedingungen begründet. Während der Messdauer kam es immer wieder zu starken schauerartigen Niederschlägen mit anschließenden trockenen Perioden.

Im Folgenden wird in gleicher Weise der Immissionsverlauf eines UKW Kanals untersucht. Dieser ist in folgendem Bild dargestellt.

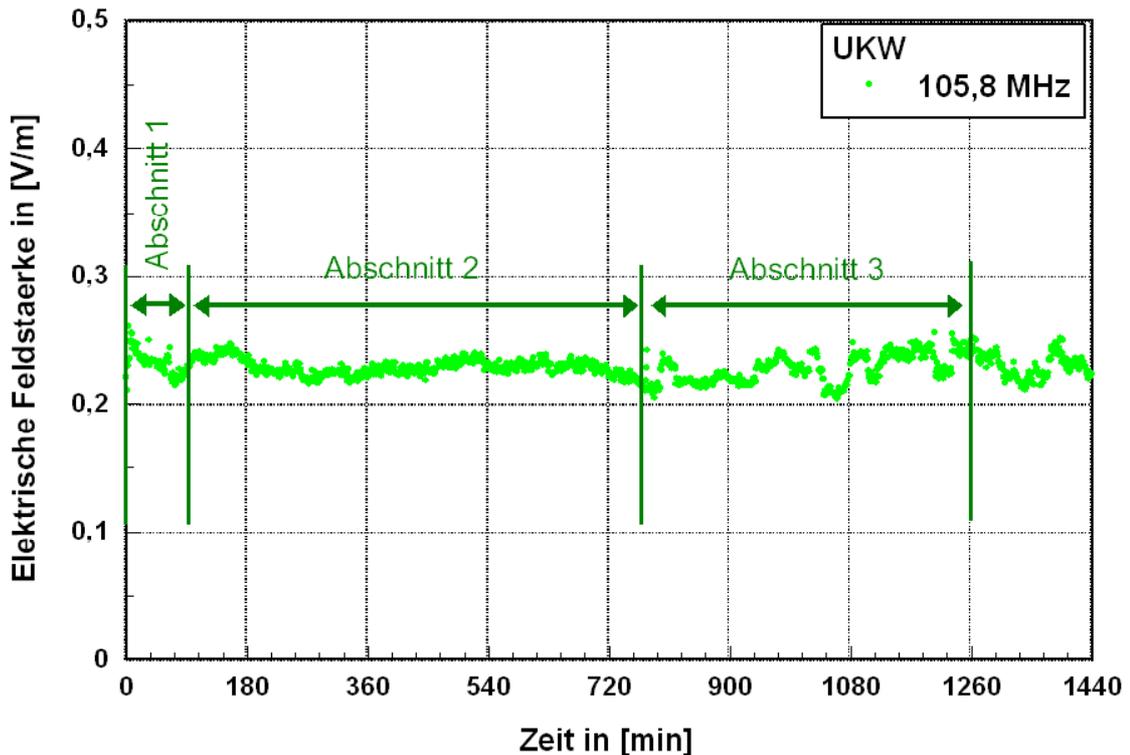


Bild III.3.3: Feldstärkeverlauf für UKW mit direkter Sicht zum Sender

In obigem Bild sind wie schon bei der vorangegangenen Betrachtung die drei Zeitabschnitte zu sehen. Der Immissionsverlauf zeigt ein ähnliches Verhalten wie bereits beim DVB-T Kanal, was auch durch die zahlenmäßige Immissionsschwankung in folgender Tabelle unterstützt wird.

	Beschreibung	Feldstärkeschwankung in [dB]
Abschnitt 1	Aufenthalt von Personen im Raum (tagsüber)	1,8
Abschnitt 2	Kein Aufenthalt von Personen im Raum	0,9
Abschnitt 3	Aufenthalt von Personen im Raum (nachts)	1,9

Tabelle III.3.2: Feldstärkeschwankungen für UKW in den verschiedenen Zeitabschnitten

Die Immissionsschwankungen werden demnach auch bei UKW hauptsächlich durch den Aufenthalt und die Bewegung von Personen in der Nähe der Messeinrichtung hervorgerufen und können nicht einer anlagenseitigen Ursache zugeordnet werden.

III.3.2 IMST in Kamp-Lintfort

Der in diesem Abschnitt betrachtete Messpunkt befindet sich in einem Labor im zweiten Obergeschoss der IMST GmbH in Kamp-Lintfort. Im Gegensatz zum vorangegangenen Messpunkt bestand *keine direkte Sicht* zum Sender. In Bild III.3.4 sind die Lage von Messort und den Senderstandorten sowie der Messaufbau dargestellt.

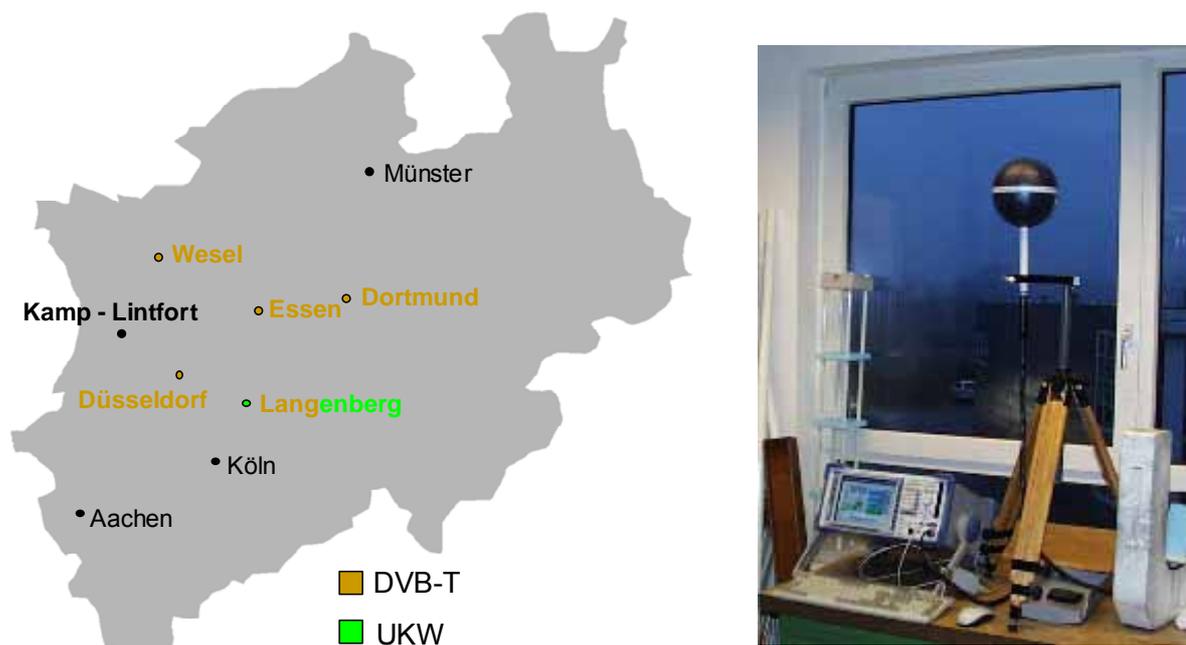


Bild III.3.4: Lage von Messort und Senderstandorten; Messaufbau am IMST

Auch dieser Messort zeichnet sich dadurch aus, dass Phasen mit Aufenthalt und Phasen ohne Aufenthalt von Personen vorlagen. Bezüglich der Immissionen von DVB-T ist erneut der Betrieb als Gleichwellennetz zu erwähnen. In Bild III.3.4 sind daher alle in Frage kommenden DVB-T Senderstandorte dargestellt. Die gemessenen Immissionen setzen sich aus den Signalen dieser Sender zusammen.

Darüber hinaus wurden mehrere UKW-Frequenzen gemessen, die alle vom Senderstandort in Langenberg abgestrahlt werden, der ca. 40 km entfernt vom Messort liegt.

In Bild III.3.5 ist der Immissionsverlauf über 24 Stunden exemplarisch für einen digitalen Fernsehkanal dargestellt.

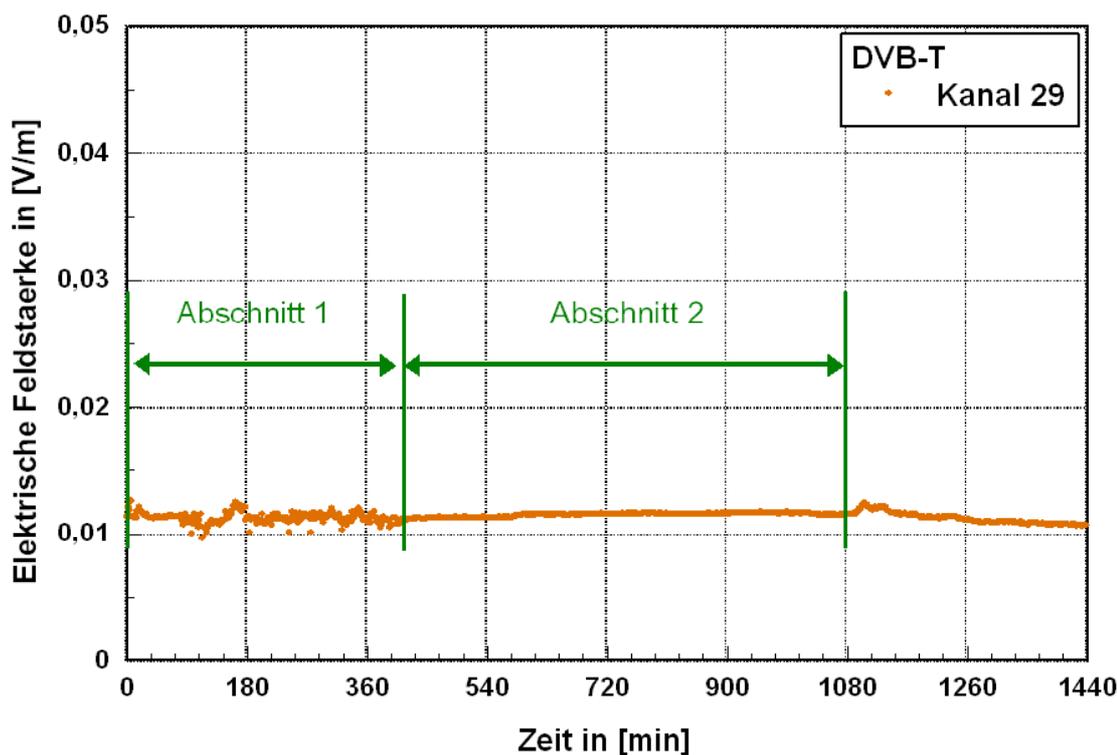


Bild III.3.5: Feldstärkeverlauf von DVB-T mit keiner direkten Sicht zu den Senderstandorten

Aus Bild III.3.5 lassen sich in Analogie zum vorangegangenen Messort zwei Zeitabschnitte mit unterschiedlichem Immissionsverlauf herausfiltern.

- Abschnitt 1: Aufenthalt von mehreren Personen innerhalb des Raumes
- Abschnitt 2: Kein Aufenthalt von Personen innerhalb des Raumes

Die zahlenmäßigen Feldstärkeschwankungen in den jeweiligen Zeitabschnitten sind in folgender Tabelle zu sehen.

	Beschreibung	Feldstärkeschwankung in [dB]
Abschnitt 1	Aufenthalt von Personen im Raum	2,4
Abschnitt 2	Kein Aufenthalt von Personen im Raum	0,7

Tabelle III.3.3: Feldstärkeschwankungen für DVB-T in den verschiedenen Zeitabschnitten

Die Immissionsschwankungen scheinen auf den ersten Blick erneut durch den Aufenthalt von Personen in der Nähe der Messeinrichtung hervorgerufen zu werden. Eine weitere Messung eines Immissionsverlaufs zu einem anderen Zeitpunkt zeigte jedoch, dass auch Schwankungen durch Änderungen im Ausbreitungsweg auftreten können (hier z.B. durch vorbeifahrende Autos). In diesem Fall waren keine Personen anwesend. Die Feldstärkeschwankungen lagen bei 2,3 dB und damit in einem ähnlichen Bereich wie die bei Aufenthalt

von Personen im Raum (siehe Tabelle III.3.3). Die Ursachen für die Immissionsschwankungen liegen demnach bei Szenarien mit großer Entfernung zum Sender nicht ausschließlich in der direkten Messumgebung, sondern können sich auf dem gesamten Ausbreitungsweg befinden.

Im Folgenden wird in gleicher Weise der Immissionsverlauf eines UKW Kanals untersucht. Dieser ist in Bild III.3.6 dargestellt.

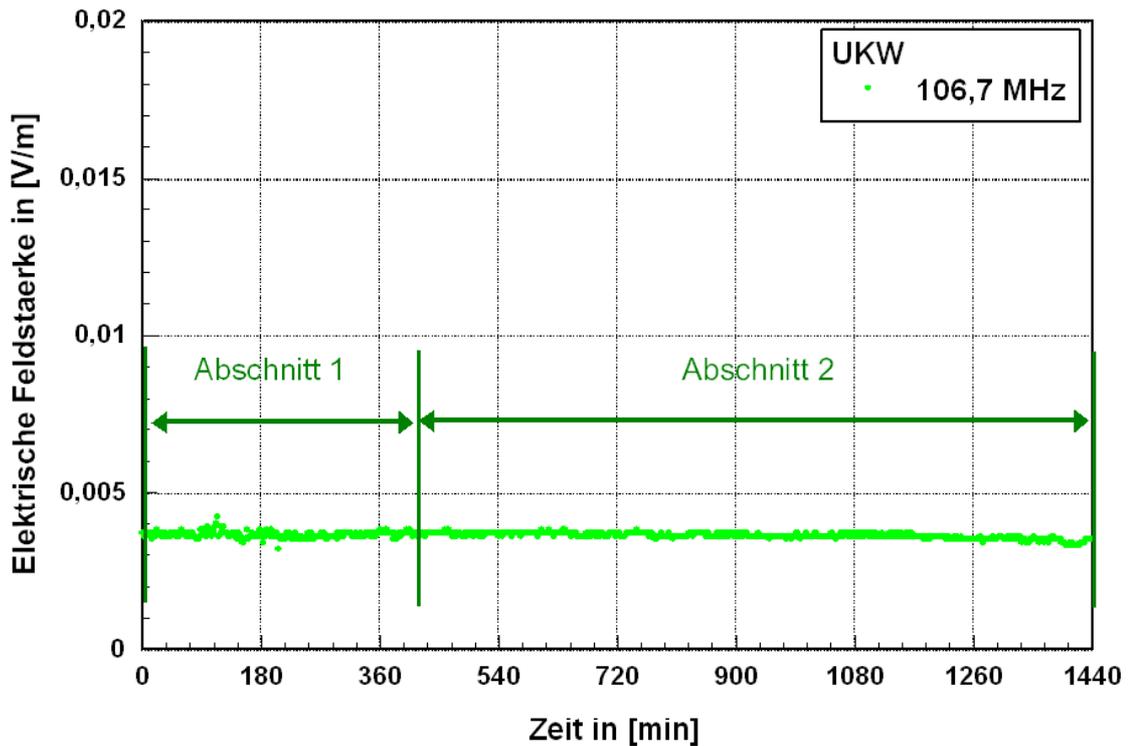


Bild III.3.6: Feldstärkeverlauf von einem UKW-Kanal mit keiner direkten Sicht zum Sender

In obigem Bild sind, wie schon bei der vorangegangenen Betrachtung, die zwei Zeitabschnitte zu sehen. Der Immissionsverlauf zeigt ein ähnliches Verhalten wie schon beim DVB-T Kanal, was auch durch die zahlenmäßige Immissionsschwankung in folgender Tabelle unterstützt wird.

	Beschreibung	Feldstärkeschwankung in [dB]
Abschnitt 1	Aufenthalt von Personen im Raum bzw. Ausbreitungsweg bedingte Schwankungen	1,8
Abschnitt 2	Kein Aufenthalt von Personen im Raum bzw. vorbeifahrende Autos	0,7

Tabelle III.3.4: Feldstärkeschwankungen für UKW in den verschiedenen Zeitabschnitten

Die Immissionsschwankungen werden demnach auch bei UKW hauptsächlich durch den Aufenthalt der Personen in der Nähe der Messeinrichtung bzw. durch Änderungen seitens

des Ausbreitungsweges hervorgerufen und können nicht einer anlagenseitigen Ursache zugeordnet werden.

III.3.3 Fernmeldeturm "Regensburg" und UKW-Sender "Hohe Linie"

Der Messpunkt befindet sich in einem lateralen Abstand von ungefähr 5,5 km zum Fernmeldeturm "Regensburg" bzw. ungefähr 6 km zum Sender "Hohe Linie". Die Messeinrichtung wurde in einer Wohnung im vierten Obergeschoss vor der geschlossenen Balkontür aufgebaut. Es bestand *keine direkte Sicht* zu den beiden Sendern. In Bild III.3.7 ist die Lage des Messpunktes und der beiden Sender zu sehen.

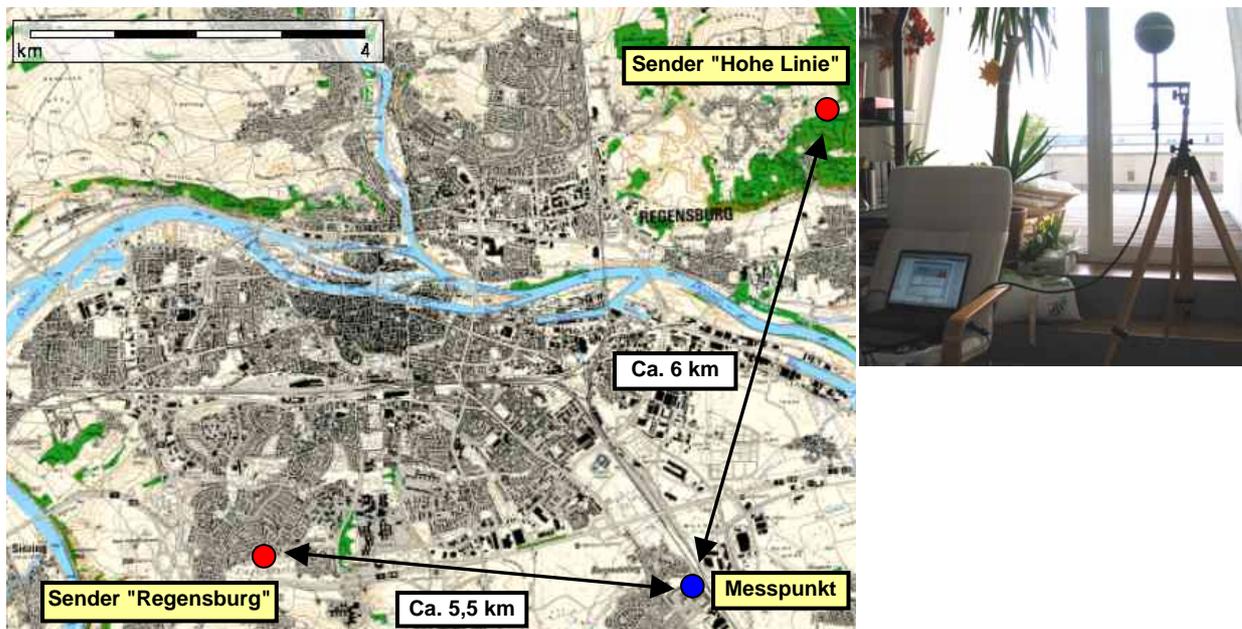


Bild III.3.7: Lage der Sender "Regensburg" und "Hohe Linie" sowie des Messortes; Messaufbau

Vom Sender "Regensburg" werden insgesamt fünf analoge Fernsehkanäle, sechs UKW-Kanäle und ein DAB-Signal (regional, L-Band) abgestrahlt, vom Sender "Hohe Linie" ein analoger Fernsehkanal, sechs UKW-Kanäle und ein DAB-Signal (landesweit, Band III). Dargestellt werden im weiteren exemplarisch je ein Signal der drei unterschiedlichen Funkdienste.

Während des 24h-Messzeitraumes (04. - 05.04.2006; Messbeginn 18:40 Uhr) gab es Phasen mit und ohne Aufenthalt von Personen in der Nähe der Messeinrichtung. In Bild III.3.8 ist der Immissionsverlauf über 24 Stunden exemplarisch für einen analogen Fernsehkanal dargestellt.

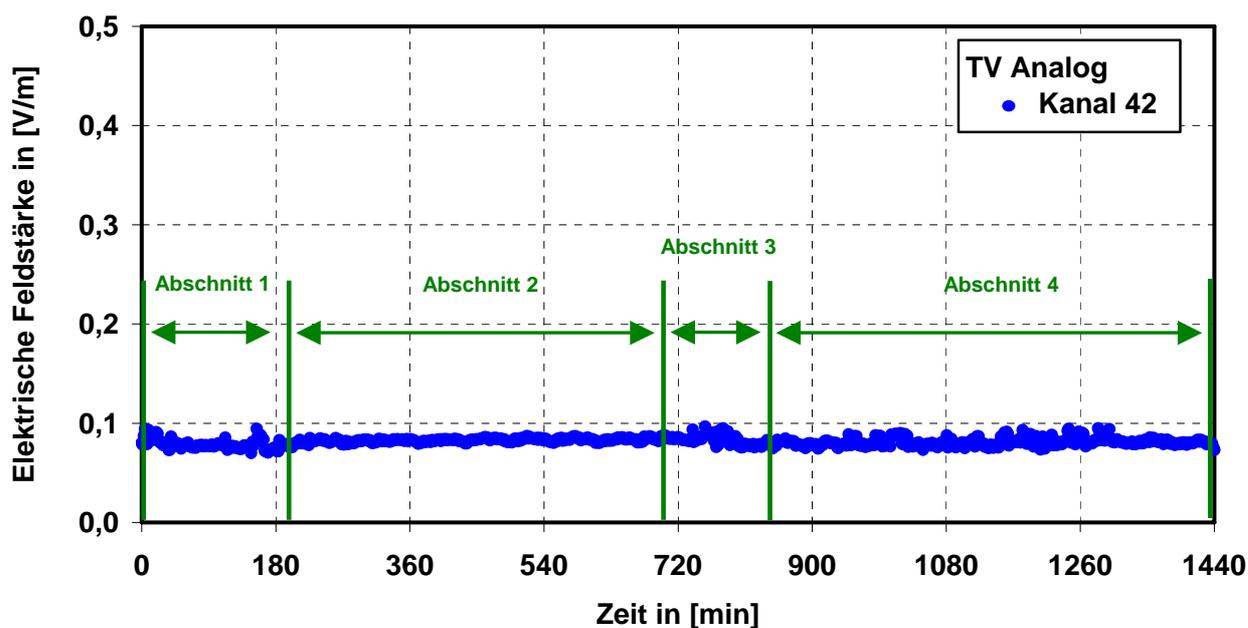


Bild III.3.8: Feldstärkeverlauf für TV analog (Kanal 42) ohne direkte Sicht zu einem Sender

Aus den Bildern III.3.8, III.3.9 und III.3.10 sind immer folgende vier Zeitabschnitte mit unterschiedlichem Immissionsverlauf zu differenzieren:

- Abschnitt 1 und 3: Aufenthalt von Personen innerhalb des Raumes (abends und früh)
- Abschnitt 2 und 4: Kein Aufenthalt von Personen innerhalb des Raumes (nachts und tagsüber)

Die zahlenmäßigen Feldstärkeschwankungen in den jeweiligen Zeitabschnitten sind in folgender Tabelle zu sehen:

	Beschreibung	Feldstärkeschwankung in [dB]
Abschnitt 1	Aufenthalt von Personen im Raum (abends)	2,6
Abschnitt 2	Kein Aufenthalt von Personen im Raum (nachts)	1,0
Abschnitt 3	Aufenthalt von Personen im Raum (früh)	2,1
Abschnitt 4	Kein Aufenthalt von Personen im Raum (tagsüber)	2,3

Tabelle III.3.5: Feldstärkeschwankungen für TV analog (Kanal 42) in den verschiedenen Zeitabschnitten

Wie schon in Abschnitt III.3.2 fällt bei den Schwankungen aus der obigen Tabelle auf, dass diese nicht alleine nur durch die Anwesenheit von Personen im Raum verursacht wurden (vergleiche hierzu Abschnitt 3 und 4). Der Unterschied der Schwankung von Abschnitt 2 zu Abschnitt 4 zeigt, dass diese auch durch Änderungen im Ausbreitungsweg (z.B. vorbeifahrende Autos) hervorgerufen werden können. Die Ursachen für die Immissionsschwankungen liegen demnach bei Szenarien mit großer Entfernung zum Sender und indirekten Sichtverhältnissen nicht ausschließlich in der direkten Messumgebung, sondern können sich auf dem gesamten Ausbreitungsweg befinden. Insgesamt zeigen aber auch die Ergebnisse hier, dass die Schwankungen nicht einer anlagenseitigen Ursache zugeordnet werden können.

Im Folgenden wird der Immissionsverlauf eines UKW Kanals betrachtet.

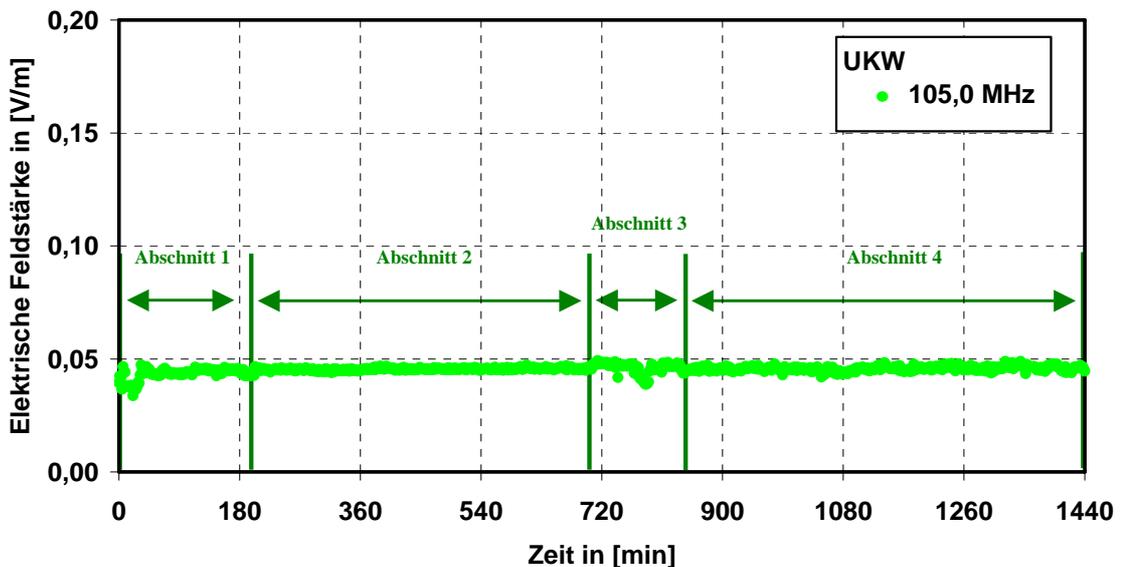


Bild III.3.9: Feldstärkeverlauf für UKW (105,0 MHz) ohne direkte Sicht zu einem Sender

In den Feldstärkeverlauf des UKW-Signals (siehe Bild III.3.9) wurden ebenfalls die vier Zeitabschnitte übertragen und in der folgenden Tabelle die Feldstärkeschwankungen in den Zeitphasen dargestellt:

	Beschreibung	Feldstärkeschwankung in [dB]
Abschnitt 1	Aufenthalt von Personen im Raum (abends)	3,0
Abschnitt 2	Kein Aufenthalt von Personen im Raum (nachts)	0,8
Abschnitt 3	Aufenthalt von Personen im Raum (früh)	2,1
Abschnitt 4	Kein Aufenthalt von Personen im Raum (tagsüber)	1,3

Tabelle III.3.6: Feldstärkeschwankungen für UKW (105,0 MHz) in den verschiedenen Zeitabschnitten

Die Immissionsschwankungen werden demnach auch bei UKW hauptsächlich durch den Aufenthalt und die Bewegung von Personen in der Nähe der Messeinrichtung hervorgerufen.

Hinzukommend sind hier natürlich auch wie schon in der vorangegangenen Betrachtung Änderungen im Ausbreitungsweg zu berücksichtigen. Insgesamt können die Immissionschwankungen auch hier nicht einer anlagenseitigen Ursache zugeordnet werden.

Im Folgenden wird in gleicher Weise der Immissionsverlauf eines DAB-Signals untersucht.

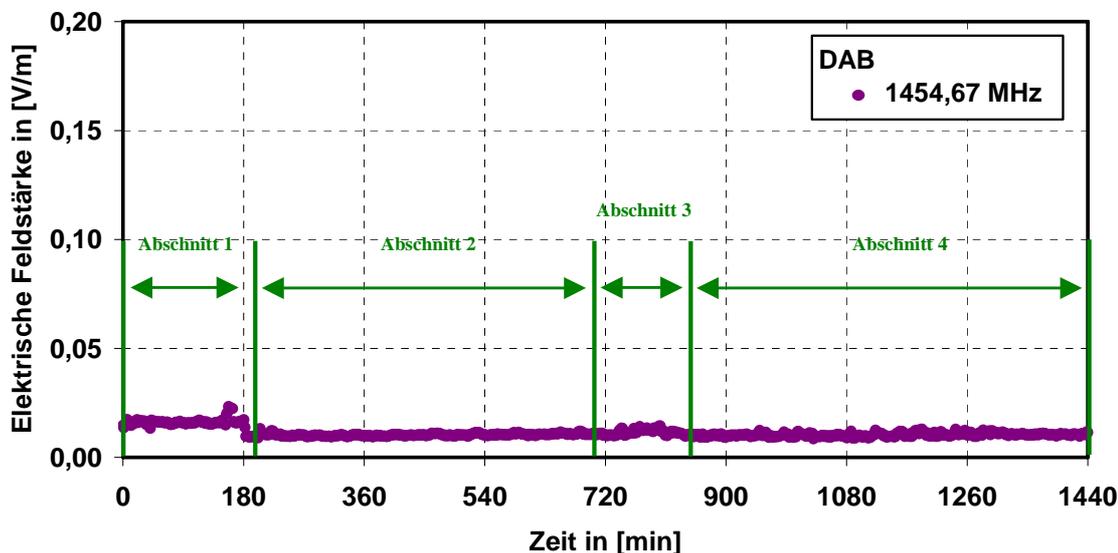


Bild III.3.10: Feldstärkeverlauf für DAB (L-Band) ohne direkte Sicht zu einem Sender

In obigem Bild sind wiederum die vier Zeitabschnitte eingezeichnet. Der Immissionsverlauf stellt sich in ähnlicher Weise wie schon beim analogen TV-Kanal und beim UKW-Signal dar, was auch aus der Feldstärkeschwankung in der folgenden Tabelle ersichtlich wird.

	Beschreibung	Feldstärkeschwankung in [dB]
Abschnitt 1	Aufenthalt von Personen im Raum (abends)	8,3
Abschnitt 2	Kein Aufenthalt von Personen im Raum (nachts)	2,3
Abschnitt 3	Aufenthalt von Personen im Raum (früh)	3,5
Abschnitt 4	Kein Aufenthalt von Personen im Raum (tagsüber)	3,7

Tabelle III.3.7: Feldstärkeschwankungen für DAB (L-Band) in den verschiedenen Zeitabschnitten

Immissionsschwankungen ergeben sich demnach auch bei DAB in erster Linie durch den Aufenthalt und die Bewegung von Personen in der Nähe des Messaufbaus und werden nicht durch Veränderungen z.B. der Abstrahlleistung des Senders hervorgerufen.

III.3.1 Fazit

Im vorangegangenen Abschnitt wurden die Ergebnisse von Langzeitmessungen über eine Zeitdauer von 24 Stunden vorgestellt. An mehreren Messpunkten mit unterschiedlichen Sichtbedingungen und Entfernungen zum Sender wurden die Immissionen von analogem TV, DVB-T, UKW und DAB aufgenommen. Durch diese Vorgehensweise konnten mögliche Immissionsschwankungen quantifiziert werden.

Die Immissionsverläufe von analogem TV, DVB-T, UKW und DAB zeigten hierbei ein ähnliches Verhalten. Schwankungen in der Feldstärke konnten insgesamt nicht mit Änderungen in der Sendeleistung begründet werden. Hier spielten andere Einflussfaktoren eine wesentliche Rolle. In diesem Zusammenhang sind vor allem der Aufenthalt von Personen mit entsprechender Bewegung in der Nähe der Messeinrichtung und Änderungen seitens des Ausbreitungsweges zu nennen.

III.4 Vergleich von Messungen und Berechnungen

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit dem Vergleich zwischen rechen-technisch prognostizierten Feldstärkewerten und den entsprechenden gemessenen Immissionen aufgeteilt nach analogem Fernsehen, DVB-T, UKW und DAB.

Als Berechnungsprogramm wird hierzu das bereits im vorangegangenen Arbeitspaket entwickelte FPT herangezogen (vgl. Abschnitt II.2.2).

Im Folgenden werden die für die Berechnung notwendigen Eingabeparameter der Vollständigkeit halber nochmals kurz vorgestellt.

- Horizontales Antennendiagramm

Für die horizontalen Antennendiagramme ist die Mithilfe der Netzbetreiber bzw. der Programmanbieter unumgänglich. Die erforderlichen Antennencharakteristiken wurden von diesen für die Studie zur Verfügung gestellt.

- Effektive Sendeleistung (in [kW (ERP)])

Die effektive Sendeleistung wird in kW (ERP) angegeben (siehe [BNetzA] bzw. [WITT 04]). Diese ist auf einen $\lambda/2$ -Dipol bezogen. Für den Vergleich der Immissionen ist es notwendig, dass hier die *mittlere* effektive Sendeleistung angegeben wird: Beim analogen Fernsehen muss der Wert der Synchronspitzenleistung bei Annahme eines mittleren Bildinhaltes hierzu um den Faktor von 4 dB reduziert werden.

- Frequenz

Die Frequenz wird in MHz angegeben.

- Antennenhöhe über Grund h_a

Die Antennenhöhe h_a ist die Höhe der Sendeantenne (Mitte der Sendeantenne) über Grund wie z.B. die Masthöhe und wird in Meter angegeben.

- Effektive Antennenhöhe h_{eff}

Die Berücksichtigung der Geländeoberfläche innerhalb der Berechnung wird über die sogenannte effektive Antennenhöhe realisiert (vgl. Abschnitt II.2.2). Für die Berechnungen wird eine über alle Raumrichtungen gemittelte effektive Antennenhöhe verwendet, die z.B. aus [BNetzA] entnommen werden kann.

- Empfangsantennenhöhe h_2

Für die Empfangsantennenhöhe h_2 wird eine Höhe von 1,7 m über dem Erdboden verwendet. Dieser Wert ist repräsentativ für die nähere Umgebung (vgl. Abschnitt II.3.1).

- Korrekturen für Empfangsantennenhöhe h_2 (nur bei h_2 ungleich 10 m)

Die Korrekturen für die Empfangsantennenhöhe von 1,7 m korrespondieren jeweils mit der am Messpunkt vorliegenden Konfiguration, aufgeteilt nach

- Stadt, dicht
Empfangspunkt umgeben von hohen Häusern mit mehreren Stockwerken
- Stadt,
Empfangspunkt umgeben von niedriger dichter Bebauung

- Vorstadt
Empfangspunkt umgeben von lockerer Bebauung
- Land, offen
Ländlich, Dorf
- Stadt, nah
Entfernung kleiner 3 km vom Sender innerhalb einer Stadt
- Abstände zum Sender
Der laterale Abstand zwischen Sender und jeweiligem Messpunkt muss durch einen x und einen y- Abstand angegeben werden. Diese lassen sich aus den jeweiligen Koordinatenpaaren von Sender und Messpunkt im Gauß-Krüger-Format bestimmen.

Zum besseren Verständnis der im weiteren betrachteten Senderstandorte zeigt das Bild III.4.1 schematisch die beiden Startregionen für DVB-T in Bayern, in denen die Messungen durchgeführt wurden.



Bild III.4.1: Übersicht über die DVB-T Startregionen in Bayern

III.4.1 Berechnungen für das analoge Fernsehen

Im Folgenden werden die Berechnungsergebnisse für das *analoge Fernsehen* mit den entsprechenden vor der Umstellung auf digitales Fernsehen gemessenen Immissionen verglichen. Das Bild III.4.2 zeigt die für die Region Nordbayern relevanten Senderstandorte. Die Größe der Kreise symbolisiert hierbei die mittlere Sendeleistung der einzelnen Sender.

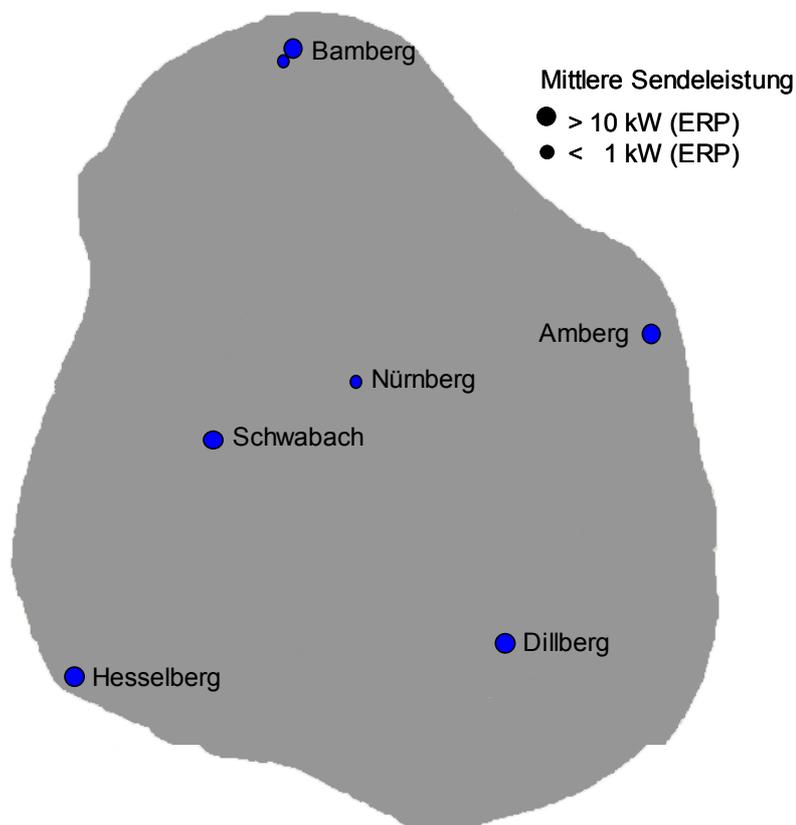


Bild III.4.2: Analoge TV-Senderstandorte in der Region Nordbayern

In Tabelle III.4.1 sind die obigen Senderstandorte mit den Kanalnummern und den zugehörigen Berechnungsparametern zu sehen. Die effektive Höhe aus der [BNetzA] wird in Abhängigkeit der jeweiligen Raumrichtung angegeben. Die in den folgenden Berechnungen verwendete sogenannte mittlere effektive Höhe entspricht hierbei dem arithmetischen Mittelwert der effektiven Antennenhöhe gemittelt über alle Raumrichtungen.

Senderstandort	Koordinaten		Kanalnummer	Antennenhöhe [m]	Mittlere Effektive Höhe [m]	Mittlere Sendeleistung [kW (ERP)] je Kanal
	Rechtswert [m]	Hochwert [m]				
Amberg	5485631	4500342	37	125	341	141,3
			43	125	341	199,1
Bamberg	5524330	4432389	24, 56	119	241	21,9
			30, 45, 48	114	236	0,3
	5528344	4432619	52	105	303	39,8
Büttelberg	5476455	4382345	55	200	157	195
Dillberg	5465273	4455055	6	210	349	39,8
Hesselberg	5437688	4392274	32	108	299	195,4
			47	118	309	195,4
Nürnberg	5476870	4430284	21, 23, 53	282	266	0,25
			36, 40	235	219	0,4
Schwabach	5461073	4426284	34	205	278	159,2
			59	215	288	195,9

Tabelle III.4.1: Überblick über die betrachteten Senderstandorte für das analoge Fernsehen in der Region Nordbayern mit den entsprechenden Berechnungsparametern

Anlehnend an die vorherige Darstellungsweise sind in Bild III.4.3 die Senderstandorte des *analogen Fernsehens* und in der anschließenden Tabelle die für die Berechnung relevanten Parameter für die Region Südbayern zu sehen.

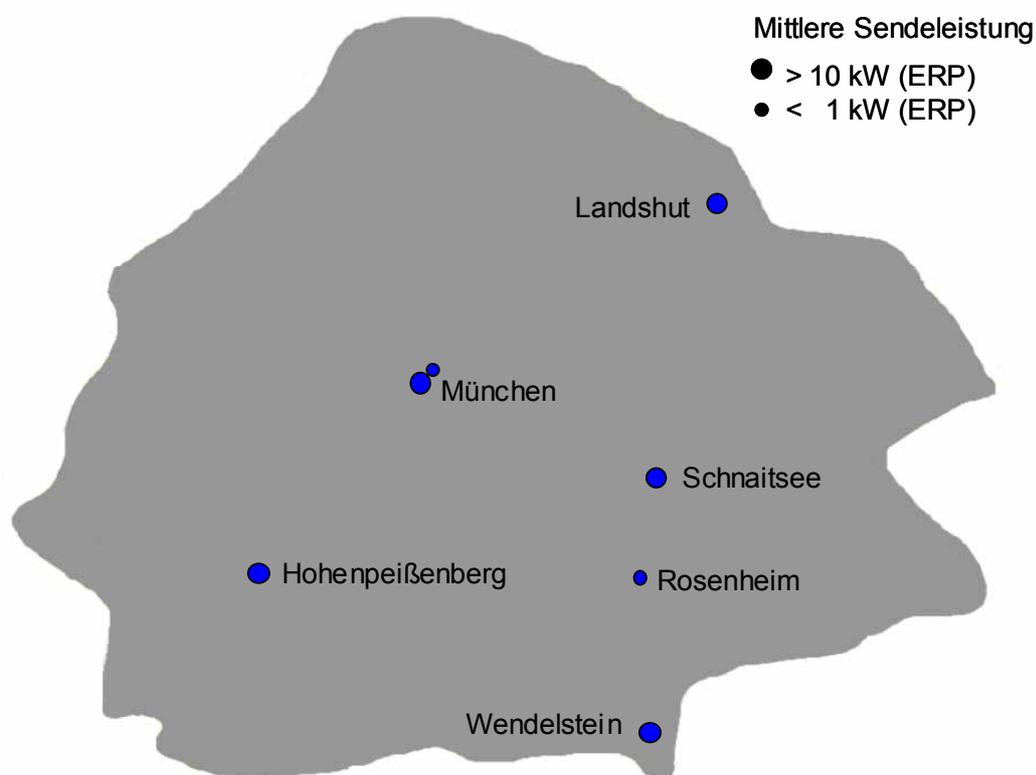


Bild III.4.3: Analoge TV-Senderstandorte in der Region Südbayern

Senderstandort	Koordinaten		Kanalnummer	Höhe der Antenne [m]	Mittlere Effekt. Höhe [m]	Mittlere Sendeleistung [kW (ERP)] je Kanal
	Rechtswert [m]	Hochwert [m]				
Hohenpeißenberg	5296234	4426929	22, 53	152	386	138,0
			25	140	374	39,8
Landshut	5376209	4512679	39	58	80	21,9
München (Olymp.)	5337376	4466805	24, 27, 40, 45, 51, 59	260	253	0,4
			35 ²	273	266	39,9
			37	260	253	1,0
			56 ²	283	276	39,9
Rosenheim	5301432	4509125	38	62	10	0,1
Schnaitsee	5327152	4527088	26, 54	150	282	199,5
Wendelstein	5284934	4500938	10	49	1021	15,92

Tabelle III.4.2: Überblick über die betrachteten Senderstandorte des analogen Fernsehens in der Region Südbayern mit den entsprechenden Berechnungsparametern

Die Ergebnisse des Vergleichs von rechentechnisch mit FPT prognostizierten und entsprechenden messtechnisch erfassten Immissionen in den oben dargestellten Regionen werden im weiteren zusammenfassend dargestellt. Für die Auswertung standen hierzu 1135 Vergleichspaare zwischen Berechnung und Messung zur Verfügung. Diese setzen sich aus den 181 Außenmesspunkten und der Anzahl der jeweils gemessenen Frequenzen für das analoge Fernsehen zusammen. Für die Durchführung der rechentechnischen Prognose wurden zunächst die Abstände der einzelnen Messpunkte zum jeweils betrachteten Senderstandort anhand der Koordinatenpaare als x- und y-Abstand bestimmt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Koordinaten für Messpunkt und Senderstandort im Gauß-Krüger Format (alternativ ist auch das UTM-Format möglich) vorliegen sollten. Insofern müssen die Standortkoordinaten der Sender, die typischerweise in Länge und Breite angegeben sind, in das entsprechende Format transformiert werden. Hierzu gibt es im Internet frei verfügbare Software (z.B. MultiTransAHO). Exemplarisch sind die für die Transformation notwendigen Datenformate in der folgenden Tabelle dargestellt.

Eingabeformat			Ausgabeformat		
Referenzellipsoid	Koordinaten	Darstellungsart	Referenzellipsoid	Koordinaten	Darstellungsart
GRS80 (WGS84)	Länge und Breite	Dezimalgrad bzw. Grad; Minuten; Sekunden	Bessel (Potsdam)	Gauß-Krüger	Rechtswert und Hochwert in [m]

Tabelle III.4.3: Datenformate für die Umrechnung von Koordinaten aus Länge und Breite in das Gauß-Krüger Format

Prinzipiell kann u.a. zwischen folgenden unterschiedlichen Anforderungen an ein Berechnungsverfahren unterschieden werden. In diesen spiegelt sich auch das Einsatzgebiet insofern wieder, ob das Verfahren z.B. für EMVU-Betrachtungen oder für eine Funknetzplanung verwendet werden soll.

² Die Sendeleistungen weichen von denen aus Kapitel I ab, da während der Vorher-Messungen bereits eine provisorische Analog-TV Sendeantenne installiert war, die einen Gewinnunterschied von -3 dB zur ursprünglichen aufwies.

1. Das Berechnungsverfahren soll eine möglichst geringe mittlere betragsmäßige Abweichung bezüglich entsprechender Messwerte aufweisen, d.h. der betragsmäßige Unterschied zwischen der rechentechnisch ermittelten und messtechnisch erfassten Immission soll möglichst gering sein. Dies ist als ein Maß für die *Genauigkeit* der rechentechnischen Prognose anzusehen.
2. EMVU:
Das Berechnungsverfahren soll an möglichst allen Vergleichspunkten einen höheren Immissionswert liefern als der, der bei der Messung ermittelt wurde. Die Differenz zwischen Berechnung und Messung soll demnach immer größer „0“ sein bzw. der berechnete Wert soll den Messwert möglichst an allen Vergleichspunkten überbewerten (dies entspricht der 100%igen Überbewertung) Auf diese Weise kann das Verfahren als eine Worst Case - Berechnung angesehen werden.
3. Funknetzplanung:
Das Berechnungsverfahren soll an möglichst allen Vergleichspunkten einen niedrigeren Immissionswert liefern, als er bei der Messung ermittelt wurde. Die Differenz zwischen Berechnung und Messung soll demnach immer kleiner „0“ sein bzw. der berechnete Wert soll den Messwert möglichst an allen Vergleichspunkten unterbewerten (dies entspricht der 100%igen Unterbewertung) Auf diese Weise ist das Verfahren für die Prognose einer Versorgungssicherheit geeignet.

Vor diesem Hintergrund wurden in der hier vorliegenden Studie zwei unterschiedliche Berechnungen durchgeführt. Zum einen wurde in den rechentechnisch prognostizierten Immissionen ein konfigurationsabhängiger Korrekturfaktor für die Empfangsantennenhöhe berücksichtigt und zum anderen wurde die Berechnung ohne Korrektur durchgeführt.

Bezüglich der Nomenklatur in den folgenden Abschnitten ist folgendes festgelegt: Die *mittlere Abweichung* wird aus der *betragsmäßigen Differenz* zwischen Berechnung und Messung ermittelt. Die *prozentuale Überbewertung* gibt den *prozentualen Anteil* aller Vergleichspunkte an, an denen die berechnete Immission oberhalb der gemessenen Feldstärke lag.

In der folgenden Tabelle sind die über alle Vergleichspaare betrachtete mittlere Abweichung und der prozentuale Anteil der Überbewertungen getrennt nach Berechnung mit Korrektur bzw. ohne Korrektur dargestellt.

Konfiguration	Korrektur	Anzahl der Paare	Mittlere Abweichung in [dB]	Anzahl der Punkte in [%] mit einer Überbewertung
alle	ja	1135	12,9	27,8
alle	nein	1135	24,8	96,2

Tabelle III.4.4: Auswertung der Vergleiche zwischen Messung und Berechnung für das analoge Fernsehen

Aus Tabelle III.4.4 kann folgendes festgehalten werden:

- Eine Berechnung mit einem gemäß der ITU-Empfehlung integrierten konfigurationsabhängigen Korrekturfaktor weist eine geringere mittlere Abweichung auf als eine Berechnung ohne Korrekturfaktor.
- Eine Berechnung ohne Korrekturfaktor liefert einen höheren prozentualen Anteil an Vergleichspunkten, an denen die berechnete Immission über der gemessenen lag (der prozentual Anteil von Überbewertungen ist bedeutend höher), als eine Berechnung mit Korrektur.

Darüber hinaus hat die Auswertung des Vergleichs insgesamt gezeigt, dass die unterschiedlichen Kanäle eines Senders bei der Prognose ein ähnliches Verhalten aufweisen.

Auf der Basis der oben dargestellten Anforderungen an das Berechnungsprogramm werden im Folgenden zwei Optimierungen der Berechnungen durchgeführt: Auf der einen Seite wird das Berechnungsprogramm in der Art optimiert, dass eine möglichst gute Genauigkeit in Form einer möglichst geringen betragsmäßigen mittleren Abweichung vorliegt. Zum zweiten wird das Berechnungsprogramm auf den „Worst Case“ in Form einer möglichst großen prozentualen Überbewertung optimiert, d.h. der Anteil der Vergleichspunkte, an denen die berechnete Immission oberhalb der gemessenen liegt soll möglichst groß sein.

Zunächst wird untersucht, in wie weit sich die obigen Ergebnisse bezüglich der Genauigkeit bzw. der mittleren Abweichung durch einen Zuschlag auf die Berechnungsergebnisse verbessern lassen. Es wurde also derjenige Zuschlag für die jeweilige Konfiguration gesucht, bei dem sich ein globaler Minimumwert für die mittlere Abweichung ergab. In folgender Tabelle sind die resultierenden Zuschläge aufgeteilt nach der jeweiligen Konfiguration dargestellt.

Konfiguration	Korrektur	Anzahl der Paare	Mittlere Abweichung in [dB] (ohne Zuschlag)	Zuschlag in [dB]	Mittlere Abweichung in [dB] (mit Zuschlag)
Gesamt	ja	1135	12,9	jeweilig	9,0
Stadt, dicht	ja	232	14,6	8	8,1
Stadt	ja	210	12,5	7	8,0
Vorstadt	ja	356	9,8	2	9,4
Stadt, nah	ja	27	22,4	-17	7,9
Land, offen	ja	310	10,5	2	9,7

Tabelle III.4.5: Mittlere Abweichung; Auswertung für das analoge Fernsehen mit Berücksichtigung eines Zuschlags

Durch die Berücksichtigung eines der jeweiligen Konfiguration entsprechenden Zuschlags konnte die mittlere Abweichung um knapp 4 dB verbessert werden. Der prozentuale Anteil der Vergleichspunkte, deren Abweichung vor dem Hintergrund der Messunsicherheit innerhalb eines Bereichs von ± 3 dB liegt beträgt 78 %. Für diese Punkte liefert die rechentechnische Prognose eine *gute Übereinstimmung* mit den korrespondierenden Messwerten.

Die dennoch relativ hohe mittlere Abweichung liegt in den restlichen 22 % der Vergleichspunkte begründet. Diese weisen zum Beispiel geographische Merkmale (Tallage mit daraus resultierender Abschattung) auf, die durch das hier verwendete Verfahren nicht ausreichend dargestellt werden können, wodurch höhere Über- bzw. Unterbewertungen auftreten. Dieses spiegelt sich auch in dem Umstand wieder, dass die mittlere Abweichung für Punkte, die in ebenem Gelände liegen, um gut 2 dB besser ist als für Punkte in bergigem Terrain.

Hieran anschließend steht nun die prozentuale Überbewertung als Maß für die „Worst Case“ – Optimierung im Vordergrund. Hierfür bilden die Berechnungen ohne Korrekturterm die Grundlage. Für die Optimierung wurde so verfahren, dass die resultierende maximale Unterbewertung möglichst einen Wert von 3 dB und weniger aufweist und somit im Bereich der Messunsicherheit liegt. Auf diese Weise kann ein Worst Case Verfahren geschaffen werden. In Tabelle III.4.6 sind die Ergebnisse der Optimierung auf eine möglichst maximale prozentuale Überbewertung dargestellt.

Konfiguration	Korrek.	Anzahl d. Paare	Anz. Punkte m.. Überbew. in [%]	Max. Unterbew. in [dB] (ohne Zuschlag)	Zuschlag in [dB]	res. Anz. Punkte m.. Überbew. in [%]	Max. Unterbew. in [dB] (mit Zuschlag)
Gesamt	nein	1135	96,3	9,2	jeweilig	98,8	2,9
Stadt, dicht	nein	232	96,6	9,2	7	98,3	2,2
Stadt	nein	210	99,1	5,5	3	99,5	2,5
Vorstadt	nein	356	97,8	4,4	2	98,9	2,4
Stadt, nah	nein	27	100,0	-8	-8	100,0	0
Land, offen	nein	310	91,9	8,9	6	98,4	2,9

Tabelle III.4.6: Worst Case-Ansatz; Auswertung für das analoge Fernsehsignal mit Berücksichtigung eines Zuschlags

Aus obiger Tabelle wird ersichtlich, dass die prozentuale Überbewertung unter Berücksichtigung eines Zuschlags zu den Berechnungsergebnissen gesteigert werden konnte. Die maximale Unterbewertung liegt hierbei im Bereich der Messunsicherheit. An dieser Stelle sei aber angemerkt, dass die mittlere Abweichung durch diese Vorgehensweise bedingt stark ansteigt und einen Wert von 30 dB aufweist.

Das Berechnungsverfahren kann ohne Berücksichtigung einer Korrektur für die Empfangsantennenhöhe und inklusive eines Zuschlags für Immissionen des analogen Fernsehen als Worst Case Methode angesehen werden.

III.4.2 Berechnungen für das digitale Fernsehen

Der Vergleich der Berechnungsergebnisse für das *digitale terrestrische Fernsehen* mit den entsprechenden gemessenen Immissionen nach der Umstellung wird im Folgenden Abschnitt behandelt. Das Bild III.4.4 zeigt die für die Region Nürnberg relevanten Senderstandorte.



Bild III.4.4: DVB-T Senderstandorte in der Region Nordbayern

In der folgenden Tabelle sind die Senderstandorte mit den zugehörigen Kanalnummern und den Berechnungsparametern dargestellt.

Senderstandort	Koordinaten		Kanalnummer	Höhe der Antenne [m]	Mittlere Effek. Höhe [m]	Mittlere Sendeleistung [kW (ERP)] je Kanal
	Rechtswert [m]	Hochwert [m]				
Dillberg	5465273	4455055	34, 59	180	325	50,0
			6	210	356	25,0
Nürnberg	5476870	4430284	34,59	284	268	50,0
			40, 60, 66	284	268	20,0
			6	275	259	25

Tabelle III.4.7: Überblick über die betrachteten Senderstandorte in der Region Nordbayern für DVB-T mit den entsprechenden Berechnungsparametern

In gleicher Weise sind in Bild III.4.5 die Senderstandorte des digitalen terrestrischen Fernsehens und in der anschließenden Tabelle die für die Berechnung relevanten Parameter für die Region Südbayern zu sehen.



Bild III.4.5: DVB-T Senderstandorte in der Region Südbayern

Senderstandort	Koordinaten		Kanalnummer	Höhe der Antenne [m]	Mittlere Effek. Höhe [m]	Mittlere Sendeleistung [kW (ERP)] je Kanal
	Rechtswert [m]	Hochwert [m]				
München (Olymp.)	5337376	4466805	10	275	275	20,0
			34, 35, 56, 48, 66	284	284	100,0
Wendelstein	5284934	4500938	10	45	983	25,0
			34, 35, 56, 48, 66	54	992	100,0

Tabelle III.4.8: Überblick über die betrachteten Senderstandorte in der Region Südbayern für DVB-T mit den entsprechenden Berechnungsparametern

Bei den Immissionen des digitalen Fernsehens ist im Gegensatz zum analogen Fernsehen zu beachten, dass das Sendernetz ein sogenanntes Gleichwellennetz ist. Hierbei werden Signale von mehreren Standorten auf der gleichen Frequenz abgestrahlt, d.h. am Empfangsort überlagern sich die Immissionen von den entsprechenden Sendern. Die Berechnungen wurden dementsprechend zunächst für jeden digitalen Senderstandort separat durchgeführt. Anschließend wurden die prognostizierten Immissionen an den einzelnen Vergleichspunkten leistungsmäßig addiert. Insofern ist die Anzahl der Vergleichspunkte von 948 im Gegensatz zur vorherigen Betrachtung des analogen Fernsehens reduziert.

Die folgende Tabelle enthält entsprechend der Betrachtungen beim analogen Fernsehen zunächst einmal die Ergebnisse der zwei Berechnungsarten (mit und ohne Korrektur) aufgeteilt nach mittlerer Abweichung und prozentualer Überbewertung.

Konfiguration	Korrektur	Anzahl der Punkte	Mittlere Abweichung in [dB]	Anzahl der Punkte in [%] mit einer Überbewertung
alle	ja	948	13,6	19,6
alle	nein	948	18,5	92,9

Tabelle III.4.9: Auswertung der Vergleiche zwischen Messung und Berechnung für das digitale terrestrische Fernsehen

Die Ergebnisse aus Tabelle III.4.9 zeigen ein ähnliches Ergebnis wie die des analogen Fernsehens. Während die Berücksichtigung einer konfigurationsabhängigen Korrektur (laut ITU-Empfehlung) für die Empfangsantennenhöhe eine geringere mittlere Abweichung und somit bessere Genauigkeit aufweist, ist der Anteil der prozentualen Überbewertung bei der Berechnung ohne Korrekturterm deutlich größer. Darüber hinaus hat auch hier der Vergleich insgesamt gezeigt, dass die unterschiedlichen Kanäle eines Senders bei der Prognose ein ähnliches Verhalten aufweisen.

Anlehnend an die Vorgehensweise beim analogen Fernsehen wird nun untersucht, in wie weit sich die obigen Ergebnisse durch einen Zuschlag im Hinblick auf „Genauigkeit“ und „Worst Case“ verbessern lassen. Zunächst sind in Tabelle III.4.10 die Ergebnisse für die Optimierung bezüglich der mittleren Abweichung dargestellt.

Konfiguration	Korrektur	Anzahl der Punkte	Mittlere Abweichung in [dB] (ohne Zuschlag)	Zuschlag in [dB]	Mittlere Abweichung in [dB] (inklusive Zuschlag)
Gesamt	ja	948	13,6	jeweilig	11,5
Stadt, dicht	ja	154	16,5	4	13,0
Stadt	ja	192	14,8	1	14,3
Vorstadt	ja	296	10,0	4	8,5
Land, offen	ja	306	12,8	5	9,9

Tabelle III.4.10: Mittlere Abweichung; Auswertung für das digitale terrestrische Fernsehen mit Berücksichtigung eines Zuschlags

Durch die Berücksichtigung eines der jeweiligen Konfiguration entsprechenden Zuschlags konnte die mittlere Abweichung um knapp 2 dB verbessert werden. Für 83 % aller Vergleichspunkte liegt die Abweichung zwischen Berechnung und Messung innerhalb eines Bereichs von ± 3 dB. Hierfür liefert die rechentechnische Prognose demnach wiederum eine gute Übereinstimmung mit den korrespondierenden Messwerten.

Die dennoch relativ hohe mittlere Abweichung liegt wie schon beim analogen Fernsehen in den restlichen Vergleichspunkten (z.B. Tallage) begründet. Dass in diesem Zusammenhang aber nicht ausschließlich die Topographie eine Rolle spielt, zeigt die Tatsache, dass die mittlere Abweichung der „bergigen“ Punkte in diesem Fall knapp 1 dB besser war als die der „ebenen“ Punkte.

Im Folgenden steht die prozentuale Überbewertung im Vordergrund. Hierfür bilden wiederum die Berechnungen ohne Korrekturterm die Grundlage. In Tabelle III.4.11 sind die Ergebnisse der Optimierung auf eine möglichst maximale prozentuale Überbewertung zu sehen.

Konfiguration	Korrek.	Anzahl d. Punkte	Anz. Punkte m. Überbew. in [%]	Max. Unterbew. in [dB]	Zuschlag in [dB]	res. Anz. Punkte m. Überbew. in [%]	Max. Unterbew. in [dB] (m. Zuschlag)
Gesamt	nein	948	92,3	8,0	jeweilig	97,8	3,0
Stadt, dicht	nein	154	96,2	3,2	1	96,8	2,2
Stadt	nein	192	99,0	1,3	0	99,0	1,3
Vorstadt	nein	296	95,6	5,3	3	99,7	2,3
Land, offen	nein	306	84,6	8,0	5	95,8	3,0

Tabelle III.4.11: Worst Case-Ansatz; Auswertung für das digitale terrestrische Fernsehen mit Berücksichtigung eines Zuschlags

Aus obiger Tabelle wird ersichtlich, dass die prozentuale Überbewertung unter Berücksichtigung eines Zuschlags zu den Berechnungsergebnissen gesteigert werden konnte. Die maximale Unterbewertung liegt hierbei im Bereich der Messunsicherheit. An dieser Stelle sei aber angemerkt, dass die mittlere Abweichung durch diese Vorgehensweise bedingt stark ansteigt und einen Wert von gut 21 dB aufweist.

Das Berechnungsverfahren ohne Berücksichtigung einer Korrektur für die Empfangsantennenhöhe und inklusive eine Zuschlags für Immissionen des digitalen Fernsehens kann als Worst Case Methode angesehen werden.

III.4.3 Berechnungen für UKW

Die Berechnungsergebnisse für UKW mit den entsprechenden gemessenen Immissionen werden im Folgenden Abschnitt verglichen. Das Bild III.4.6 zeigt die für die Region Nürnberg relevanten Senderstandorte. Die Größe der Kreise symbolisiert hierbei die mittlere Sendeleistung der jeweiligen Sender.



Bild III.4.6: UKW Senderstandorte in der Region Nordbayern

Die Tabelle III.4.12 zeigt die Senderstandorte mit den zugehörigen abgestrahlten Frequenzen und den Berechnungsparametern.

Senderstandort	Koordinaten		Frequenzen [MHz]	Höhe der Antenne [m]	Mittlere Effektive Höhe [m]	Mittlere Leistung [kW (ERP)] je Frequenz
	Rechtswert [m]	Hochwert [m]				
Amberg	5476994	4488657	90	30	117	0,3
Ansbach	5462209	4396127	89,4	138	171	0,5
Bamberg	5528344	4432619	89,6; 94,8; 99,8; 102,9	53	301	25
			97,4	53	301	5
	5527600	4432830	101,1	83	301	25
Büttelberg	5476425	4382304	88,2; 99,3; 101,5; 104,0	183	187	25,1
			95,5	183	187	10,0
Dillberg	5465273	4455055	87,6; 97,9; 100,6; 100,2; 104,5	190	334	25,1
			102,5	110	254	10,0
			88,9; 92,3	170	314	25,1
Gelbelsee	5423238	4458191	100,2; 101,6; 106,1	120	185	25,0
			88	91	156	10,0
			90,5; 97,6	91	156	25,0
Nürnberg	5476870	4430284	105,1	240	224	0,5
			105,6	240	224	0,1
			92,9; 94,5; 95,8; 97,1; 106,9	240	224	0,3
			90,1	223	207	0,1
			98,6	100	82	1,0
	5479648	4432998	103,6	38	12	0,2
			106,5	38	12	0,1
Fürth	5479472	4427397	107,4	120	82	0,9
Ochsenkopf	5543664	4486289	100,3; 102,3; 103,2; 107,1	189	576	100
			90,7; 96,0; 99,4	170	557	100
Schwabach	5461073	4426284	107,8	84	161	0,32
Seubersdorf	5448552	4470108	94	105	219	1

Tabelle III.4.12: Überblick über die betrachteten Senderstandorte in der Region Nordbayern für UKW mit den entsprechenden Berechnungsparametern

In Analogie zur vorherigen Darstellung sind in Bild III.4.7 die UKW-Senderstandorte und in der anschließenden Tabelle die für die Berechnung relevanten Parameter für die Region Südbayern dargestellt.

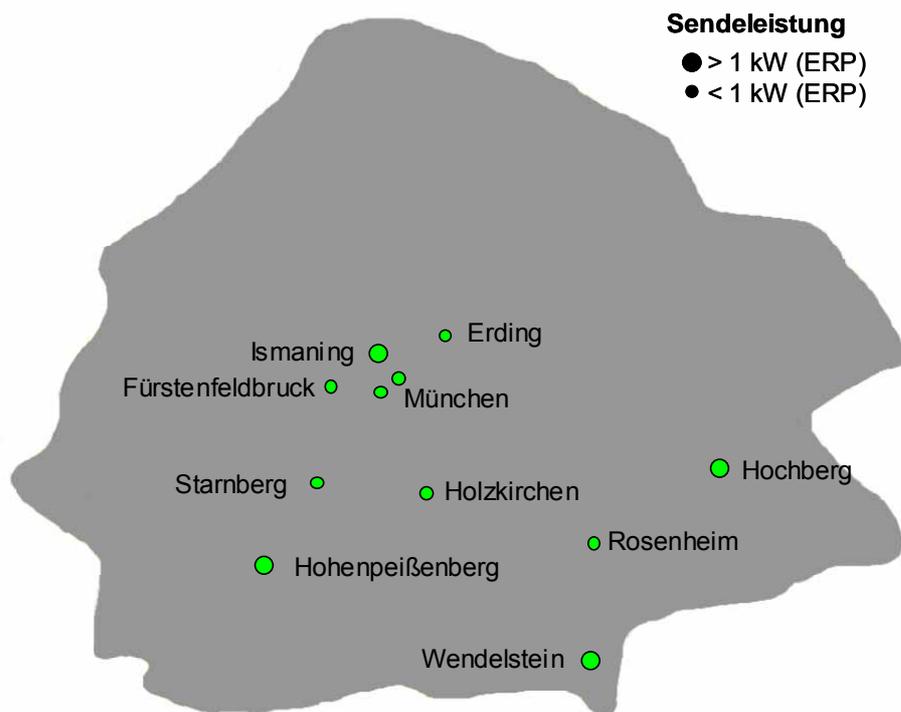


Bild III.4.7: UKW Senderstandorte in der Region Südbayern

Senderstandort	Koordinaten		Frequenzen [MHz]	Höhe der Antenne [m]	Mittlere Effek. Höhe [m]	Mittlere Leistung [kW (ERP)] je Frequenz
	R-Wert [m]	H-Wert [m]				
Erding	5349606	4493651	87,9	36	34	0,1
Fürstenfeldbruck	5332877	4442238	106,4	110	148	2,0
Hochberg	5300489	4548919	95,9; 98,0	55	148	5,0
			91,5; 103,7; 107,1	55	148	5,0
Hohenpeißenberg	5296234	4426929	94,2; 99,2	128	336	25,1
			100,4	128	336	25,1
			92,8; 103,8	128	336	25,1
Holzkirchen	5306060	4472792	91,7	46	116	0,1
Ismaning	5346238	4480840	88,4; 90,0; 91,3; 97,3	100	96	25,1
			102,7; 103,2; 105,2;	200	196	25,1
München (Neuh.)	5334413	4466498	96,8; 100,8; 101,7;	100	96	0,3
München (Olymp.)	5337376	4466805	89,0; 92,4; 93,3; 95,5; 96,3; 101,3	256	259	0,3
Rosenheim 1	5301432	4509125	92,3	50	10	0,1
			96,2; 97,2; 106,6	52	12	0,1
Rosenheim 2	5291618	4512680	96,7	15	82	0,3
Starnberg	5318461	4451399	87,9; 94,7	18	5	0,1
Wendelstein	5284934	4500938	89,5; 93,7; 98,5; 102,3; 105,7; 107,7	55	987	100,0

Tabelle III.4.13: Überblick über die betrachteten Senderstandorte in der Region Südbayern für UKW mit den entsprechenden Berechnungsparametern

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Vergleichs von rechen-technisch mit FPT prognostizierten und entsprechenden messtechnisch erfassten Immissionen in den oben dargestell-

ten Regionen zusammenfassend dargestellt. Für die Auswertung standen hierzu 2804 Vergleichspaare zwischen Berechnung und Messung zur Verfügung. Diese setzen sich wiederum aus den 181 Messpunkten und der Anzahl der jeweils gemessenen Frequenzen für UKW zusammen. Für die Durchführung der rechentechnischen Prognose wurden zunächst wieder die Abstände der Messpunkte zum jeweils betrachteten Senderstandort anhand der Koordinatenpaare als x- und y-Abstand bestimmt. Anschließend wurden die zwei schon bekannten Berechnungen durchgeführt. Zum einen wurde in die rechentechnisch prognostizierten Immission ein konfigurationsabhängiger Korrekturfaktor für die Empfangsantennenhöhe berücksichtigt und zum anderen wurde die Berechnung ohne Korrektur durchgeführt.

In der folgenden Tabelle sind die über alle Vergleichspaare betrachtete mittlere Abweichung und der prozentuale Anteil der Überbewertungen getrennt nach Berechnung mit Korrektur bzw. ohne Korrektur dargestellt.

Konfiguration	Korrektur	Anzahl der Punkte	Mittlere Abweichung in [dB]	Anzahl der Punkte in [%] mit einer Überbewertung
alle	ja	2804	10,0	27,5
alle	nein	2804	15,7	92,7

Tabelle III.4.14: Auswertung der Vergleiche zwischen Messung und Berechnung für UKW

Die Ergebnisse aus Tabelle III.4.14 zeigen ein schon bekanntes Bild. Wohingegen die Berücksichtigung einer konfigurationsabhängigen Korrektur für die Empfangsantennenhöhe eine geringere mittlere Abweichung aufweist, ist der Anteil der prozentualen Überbewertung bei der Berechnung ohne Korrekturterm deutlich größer. Insgesamt hat der Vergleich auch hier gezeigt, dass die unterschiedlichen Kanäle eines Senders bei der Prognose ein ähnliches Verhalten aufweisen.

Wie schon beim analogen und digitalen Fernsehen wird im Folgenden untersucht, in wie weit sich die obigen Ergebnisse durch einen zusätzlichen Faktor verbessern lassen. Zunächst sind hierzu in Tabelle III.4.15 die Ergebnisse für die Optimierung bezüglich der mittleren Abweichung dargestellt.

Konfiguration	Korrektur	Anzahl der Punkte	Mittlere Abweichung in [dB] (ohne Zuschlag)	Zuschlag in [dB]	Mittlere Abweichung in [dB] (inklusive Zuschlag)
Gesamt	ja	2804	10,0	jeweilig	8,3
Stadt, dicht	ja	561	10,3	6	6,2
Stadt	ja	575	9,8	5	7,2
Vorstadt	ja	811	9,5	-1	9,3
Stadt, nah	ja	20	8,6	-7	4,3
Land, offen	ja	837	10,3	3	9,0

Tabelle III.4.15: Mittlere Abweichung; Auswertung für UKW inklusive eines Zuschlags

Durch die Berücksichtigung eines der jeweiligen Konfiguration entsprechenden Zuschlags konnte die mittlere Abweichung um knapp 2 dB verbessert werden. Der prozentuale Anteil der Vergleichspunkte, deren Abweichung vor dem Hintergrund der Messunsicherheit inner-

halb eines Bereichs von ± 3 dB liegt beträgt 83 %. Die übrigen 17 % der Vergleichspunkte weisen zum Beispiel in ihrer geographischen Lage begründet zum Teil hohe Über- bzw. Unterbewertungen auf, wodurch die relativ große mittlere Abweichung begründet ist. Vor diesem Hintergrund kann noch unterstützend hinzugefügt werden, dass die mittlere Abweichung für Punkte, die in ebenem Gelände liegen um gut 4 dB besser war als für Punkte in bergigem Terrain.

Für die Optimierung der prozentualen Überbewertung bilden wiederum die Berechnungen ohne Korrekturterm die Grundlage. In Tabelle III.4.16 sind die Ergebnisse der Optimierung auf eine möglichst maximale prozentuale Überbewertung zu sehen. Dabei wurde in gleicher Weise wie bei den vorherigen Betrachtungen vorgegangen.

Konfiguration	Korrek.	Anzahl d. Punkte	Anz. Punkte m. Überbew. in [%]	Max. Unterbew. in [dB] (o. Zuschlag)	Zuschlag in [dB]	res. Anz. Punkte m. Überbew. in [%]	Max. Unterbew. in [dB] (m.Zuschlag)
Gesamt	nein	2804	92,3	16,8	jeweilig	99,4	2,3
Stadt, dicht	nein	561	99,2	0,6	0	99,2	0,6
Stadt	nein	575	94,4	16,8	14	99,8	2,8
Vorstadt	nein	811	92,7	11,1	9	99,8	2,1
Stadt, nah	nein	20	100,0	3,0	0	100,0	3,0
Land, offen	nein	837	85,8	14,3	12	99,6	2,3

Tabelle III.4.16: Worst Case-Ansatz; Auswertung für UKW inklusive eines Zuschlags

Aus obiger Tabelle wird ersichtlich, dass die prozentuale Überbewertung unter Berücksichtigung eines Zuschlags zu den Berechnungsergebnissen gesteigert werden konnte. Die maximale Unterbewertung liegt hierbei im Bereich der Messunsicherheit. An dieser Stelle sei aber angemerkt, dass die mittlere Abweichung durch diese Vorgehensweise bedingt stark ansteigt und einen Wert von gut 26 dB aufweist.

Das Berechnungsverfahren ohne Berücksichtigung einer Korrektur für die Empfangsantennenhöhe und inklusive eines Zuschlags kann auch für Immissionen von UKW als Worst Case Methode angesehen werden.

III.4.4 Berechnungen für DAB

Die Ergebnisse der Berechnungen in Relation zu den gemessenen Immissionen für DAB werden analog zu den vorherigen Betrachtungen vorgestellt. In Bild III.4.8 sind die Senderstandorte von DAB in der Region Nordbayern zu sehen. Hierbei werden die Sender dahingehend unterschieden, ob sie für eine landesweite Ausstrahlung oder zur Versorgung von lokalen Ballungszentren verwendet werden.

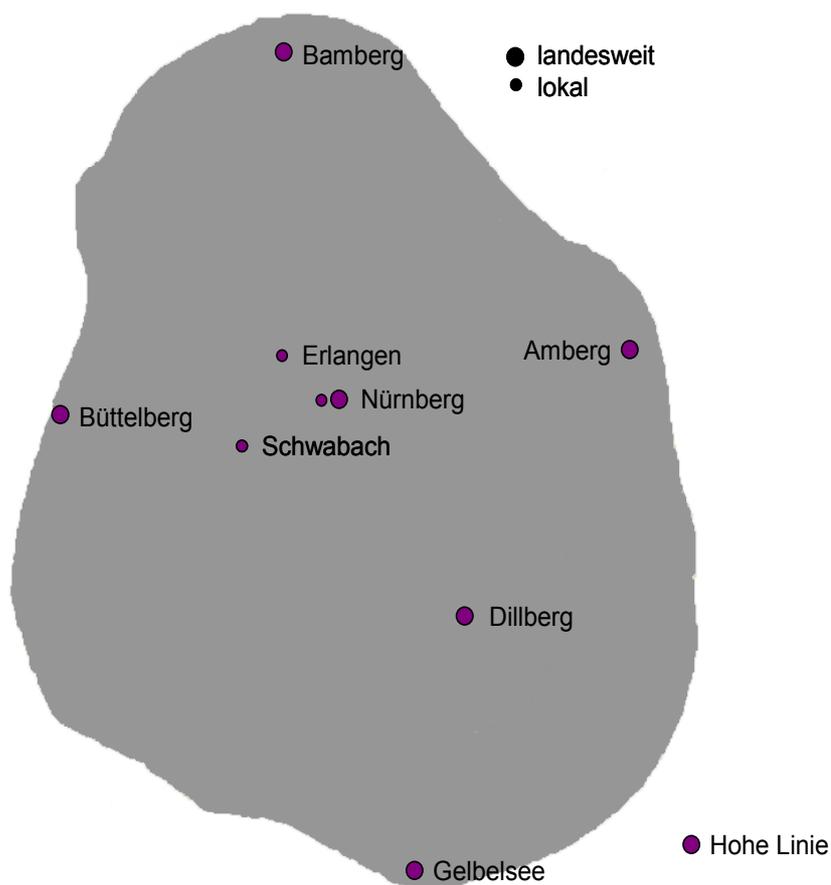


Bild III.4.8: DAB Senderstandorte in der Region Nordbayern

In Tabelle III.4.17 sind die einzelnen Senderstandorte mit den jeweiligen Berechnungsparametern zu sehen.

Senderstandort	Koordinaten		Frequenzen [MHz]	Höhe der Antenne [m]	Mittlere Effektive Höhe [m]	Mittlere Leistung [kW (ERP)] je Frequenz
	Rechtswert [m]	Hochwert [m]				
Amberg	5485631	4500342	229,072	80	305	1,0
Bamberg	5528344	4432619	229,072	114	269	1,0
Büttelberg	5476425	4382304	229,072	180	185	1,0
Dillberg	5465273	4455055	229,072	145	250	1,0
Gelbelsee	5423238	4458191	229,072	110	180	1,0
Nürnberg	5476870	4430284	229,072	259	251	0,5
Hohe Linie	5433473	4512570	229,072	150	222	1,0
Erlangen (lokal)	5494946	4427763	1456,384	51	17	4,0
Nürnberg (lokal)	5476870	4430284	1456,384	291	290	4,0
Schwabach (lokal)	5461073	4426284	1456,384	80	153	4,0

Tabelle III.4.17: Überblick über die betrachteten Senderstandorte in der Region Nordbayern für DAB mit den jeweiligen Berechnungsparametern

In gleicher Weise sind in Bild III.4.9 und Tabelle III.4.17 die Senderstandorte von DAB in der Region Südbayern mit ihren Berechnungsparametern dargestellt.



Bild III.4.9: DAB Senderstandorte in der Region Südbayern

Senderstandort	Koordinaten		Frequenzen [MHz]	Höhe der Antenne [m]	Mittlere Effektive Höhe [m]	Mittlere Leistung [kW (ERP)] je Frequenz
	Rechts- wert [m]	Hochwert [m]				
Augsburg	5361737	4425352	229,072	50	30	1,0
Herzogstand	5274415	4448522	229,072	12	665	0,5
Hochberg	5300489	4548919	229,072	58	150	1,0
Hohenpeißenberg	5296234	4426929	229,072	110	346	1,0
Ismaning	5346238	4480840	229,072	175	173	1,0
Landshut	5376209	4512679	229,072	50	100	1,0
München (Funkhaus)	5333886	4466784	229,072	80	73	1,0
Pfaffenhofen	5378482	4458020	229,072	130	187	1,0
Pfarrkirchen	5363355	4565598	229,072	100	109	1,0
Wendelstein	5284934	4500938	229,072	20	950	0,5
Baierbrunn (lokal)	5361737	4425352	1463,232	50	60	1,0
Freising (lokal)	5363385	4478956	1463,232	54	80	1,0
Fürstenfeldbruck (lokal)	5332877	4442238	1463,232	13	168	1,0
Höhenkirchen (lokal)	5320956	4477399	1463,232	63	120	1,0
München (lokal)	5337473	4466909	1463,232	232	233	1,0
München (lokal)	5337473	4466909	1463,232	292	293	2,0

Tabelle III.4.18: Überblick über die betrachteten Senderstandorte in der Region Südbayern für DAB mit den jeweiligen Berechnungsparametern

Bei den Immissionen von DAB ist wie beim digitalen Fernsehen zu beachten, dass das Sendernetz ein sogenanntes Gleichwellennetz ist. Hierbei werden die Signale von mehreren Standorten aufgeteilt nach landesweiter bzw. lokaler Bedeckung auf der gleichen Frequenz abgestrahlt. Am Empfangsort überlagern sich die Immissionen von diesen Sendern. Die Berechnungen wurden dementsprechend zunächst für jeden digitalen Senderstandort separat durchgeführt. Anschließend wurden die Immissionen an den einzelnen Vergleichspunkten leistungsmäßig addiert. Insofern ist die Anzahl von 181 bzw. 109 der Vergleichspunkte im Gegensatz zu den vorherigen Betrachtungen deutlich reduziert.

Zunächst werden nur die Immissionen der landesweiten Bedeckung betrachtet. In Tabelle III.4.18 sind hierzu die mittlere Abweichung und die prozentuale Überbewertung über alle Vergleichspunkte und alle Konfigurationen aufgeteilt nach den bereits bekannten zwei Berechnungsarten zu sehen.

Konfiguration	Korrektur	Anzahl der Punkte	Mittlere Abweichung in [dB]	Anzahl der Punkte in [%] mit einer Überbewertung
alle	ja	181	16,5	5,0
alle	nein	181	9,1	77,8

Tabelle III.4.19: Auswertung der Vergleiche zwischen Messung und Berechnung für DAB, landesweite Bedeckung

Auch die Optimierung bezüglich der mittleren Abweichung wird anhand der jeweiligen Konfigurationen in bekannter Weise durchgeführt. Hierzu wird ein Zuschlag auf den berechneten Wert gesucht, durch den die mittlere Abweichung minimiert wird. Die Resultate sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Konfiguration	Korrektur	Anzahl der Punkte	Mittlere Abweichung in [dB] (ohne Zuschlag)	Zuschlag in [dB]	Mittlere Abweichung in [dB] (inklusive Zuschlags)
Gesamt	ja	181	16,5	jeweilig	7,3
Stadt, dicht	ja	27	19,6	15	5,8
Stadt	ja	33	17,7	15	5,5
Vorstadt	ja	53	14,0	8	7,0
Land, offen	ja	68	15,2	10	8,5

Tabelle III.4.20: Optimierung der mittleren Abweichung; Auswertung der Immissionsberechnungen für DAB inklusive eines Zuschlags; landesweite Bedeckung

Der Vergleich von Berechnung und Messung der Immissionen von DAB in der landesweiten Bedeckung hat gezeigt, dass durch die Berücksichtigung eines Zuschlags in Abhängigkeit der vorliegenden Konfiguration die mittlere Abweichung von 16,5 auf 7,3 dB verbessert werden konnte. Der prozentuale Anteil der Vergleichspunkte, deren Abweichung vor dem Hintergrund der Messunsicherheit innerhalb eines Bereichs von ± 3 dB liegt beträgt in diesem Fall 80 %. Die übrigen 20 % der Vergleichspunkte weisen zum Beispiel wie schon bekannt in ihrer geographischen Lage begründet zum Teil hohe Über- bzw. Unterbewertungen auf, wodurch die relativ hohe mittlere Abweichung begründet ist. Vor diesem Hintergrund kann

noch unterstützend hinzugefügt werden, dass die mittlere Abweichung für Punkte, die in ebenem Gelände liegen, um gut 2 dB besser war als für Punkte in bergigem Terrain.

Die Optimierungsergebnisse bezüglich einer maximalen prozentualen Überbewertung sind in Tabelle III.4.21 zu sehen.

Konfiguration	Korrek.	Anzahl d. Paare	Anz. Punkte m. Überbew. in [%]	Max. Unterbew. in [dB] (o. Zuschlag)	Zuschlag in [dB]	res. Anz. Punkte m. Überbew. in [%]	Max. Unterbew. in [dB] (m. Zuschlag)
Gesamt	nein	181	77,8	13,8	jeweilig	93,3	2,9
Stadt, dicht	nein	27	88,9	4,9	2	92,6	2,9
Stadt	nein	33	78,8	3,1	1	84,8	2,1
Vorstadt	nein	53	75,5	8,6	6	94,3	2,6
Land, offen	nein	68	74,6	13,8	11	97,0	2,8

Tabelle III.4.21: Worst Case-Ansatz; Auswertung für DAB inklusive eines Zuschlags; landesweite Bedeckung

Aus obiger Tabelle wird ersichtlich, dass die prozentuale Überbewertung unter Berücksichtigung eines Zuschlags zu den Berechnungsergebnissen gesteigert werden konnte. Die maximale Unterbewertung liegt hierbei im Bereich der Messunsicherheit. An dieser Stelle sei aber angemerkt, dass die mittlere Abweichung durch diese Vorgehensweise bedingt stark ansteigt und einen Wert von knapp 18 dB aufweist.

Das Berechnungsverfahren ohne Berücksichtigung einer Korrektur und inklusive eines Zuschlags für Immissionen von DAB für die landesweite Bedeckung kann als Worst Case Verfahren betrachtet werden.

In gleicher Art und Weise stehen nun die Betrachtungen für DAB in der lokalen Bedeckung im Mittelpunkt. Zunächst ist in Tabelle III.4.22 wiederum die Auswertung über alle Vergleichspaare und Konfigurationen zu sehen.

Konfiguration	Korrektur	Anzahl der Paare	Mittlere Abweichung in [dB]	Anzahl der Punkte in [%] mit einer Überbewertung
alle	ja	109	15,7	8,9
alle	nein	109	20,2	95,6

Tabelle III.4.22: Auswertung der Vergleiche zwischen Messung und Berechnung für DAB, lokale Bedeckung

In Tabelle III.4.23 ist in gewohnter Form die Optimierung auf eine möglichst minimale mittlere Abweichung dargestellt.

Konfiguration	Korrektur	Anzahl der Punkte	Mittlere Abweichung in [dB] (ohne Zuschlag)	Zuschlag in [dB]	Mittlere Abweichung in [dB] (mit Zuschlag)
Gesamt	ja	109	15,7	jeweilig	7,8
Stadt, dicht	ja	25	19,1	13	8,1
Stadt	ja	24	13,8	11	4,8
Vorstadt	ja	36	11,6	7	6,2
Land, offen	ja	24	12,3	4	11,6

Tabelle III.4.23: Abweichung; Auswertung für DAB inklusive eines Zuschlags; lokale Bedeckung

Wie auch schon bei den vorangegangenen Betrachtungen konnte die mittlere Abweichung durch einen der Konfiguration entsprechenden Zuschlag deutlich verbessert werden. Der prozentuale Anteil der Vergleichspunkte, deren Abweichung vor dem Hintergrund der Messunsicherheit innerhalb eines Bereichs von ± 3 dB liegt beträgt 83 %. Die übrigen 17 % der Vergleichspunkte weisen zum Beispiel wie schon bekannt in ihrer geographischen Lage begründet zum Teil hohe Über- bzw. Unterbewertungen auf.

Die Ergebnisse der Optimierung auf einen möglichst großen prozentualen Wert bezüglich einer Überbewertung sind in folgender Tabelle zu sehen

Konfiguration	Korrek.	Anzahl d. Punkte	Anz. Punkte m. Überbew. in [%]	Max. Unterbew. in [dB] (o. Zuschlag)	Zuschlag in [dB]	res. Anz. Punkte m. Überbew. in [%]	Max. Unterbew. in [dB] (m.Zuschlag)
Gesamt	nein	112	95,6	-8,3	jeweilig	97,4	2,3
Stadt, dicht	nein	25	96,0	-1,1	0	96,0	1,1
Stadt	nein	24	100,0	0	0	100,0	0
Vorstadt	nein	36	97,2	-0,3	0	97,2	0,3
Land, offen	nein	24	88,5	-8,3	6	96,2	2,3

Tabelle III.4.24: Worst Case Ansatz; Auswertung für DAB inklusive eines Zuschlags; lokale Bedeckung

Aus obiger Tabelle wird ersichtlich, dass die prozentuale Überbewertung unter Berücksichtigung eines Zuschlags zu den Berechnungsergebnissen gesteigert werden konnte. Auffällig ist, dass in drei der vier Konfigurationen keine Zuschläge angegeben sind, was daran liegt, dass die maximale Unterbewertung auch ohne Zuschlag bereits im Bereich der Messunsicherheit lag. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Vergleichspunkte im Gegensatz zu den vorangegangenen betrachteten Systemen viel geringer ist. Darüber hinaus spielt hier auch noch die Tatsache hinein, dass sich die DAB Übertragungen im L-Band auf Ballungszentren konzentrieren und somit die Abstände zum Senderstandort geringer ausfallen als bei den anderen betrachteten Systemen.

Der Vollständigkeit halber sei hier aber noch angemerkt, dass die mittlere Abweichung durch diese Vorgehensweise bedingt stark ansteigt und einen Wert von gut 20 dB aufweist.

Das Berechnungsverfahren ohne Berücksichtigung einer Korrektur und inklusive eines Zuschlags für Immissionen von DAB im Bereich des L-Bandes kann als Worst Case Verfahren angesehen werden.

III.4.5 Immissionen in der Senderumgebung

Im Folgenden Abschnitt werden die Immissionen in der direkten Senderumgebung näher betrachtet. Da bis zu einer Entfernung von 1 km bei FPT mit reiner Freiraumausbreitung ausschließlich unter Verwendung des horizontalen Abstrahldiagramms gerechnet wird, ist infolgedessen mit deutlichen Überbewertungen der Immission zu rechnen (vgl. Abschnitt II.2.2 bzw. II.3.4). Hierzu wird zunächst überprüft, in wie weit ein geeignet gewählter Abschlag in diesem Bereich sinnvoll ist.

Darüber hinaus werden Immissionsvergleiche zwischen Berechnungen und Messungen durchgeführt, bei denen die Vergleichspunkte auf radial verlaufenden Linien ausgehend von einem Senderstandort verteilt sind. In Bild III.4.10 sind zwei derartige Linien exemplarisch für den Senderstandort Dillberg dargestellt. Anhand der Messpunkte wird erkennbar, dass die Verteilung exakt auf einer Linie z.B. aufgrund von eingeschränkter Erreichbarkeit nur begrenzt zu erreichen war.

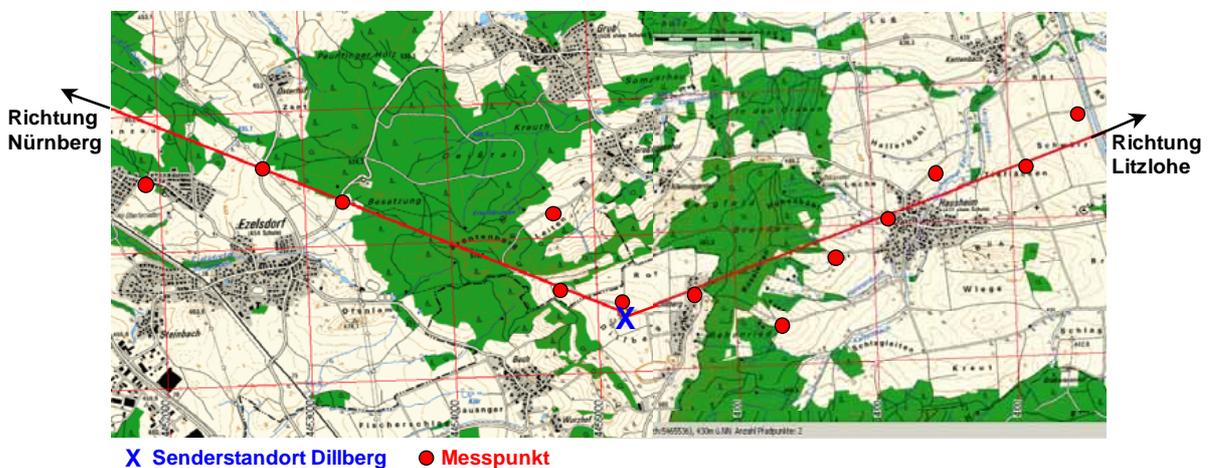
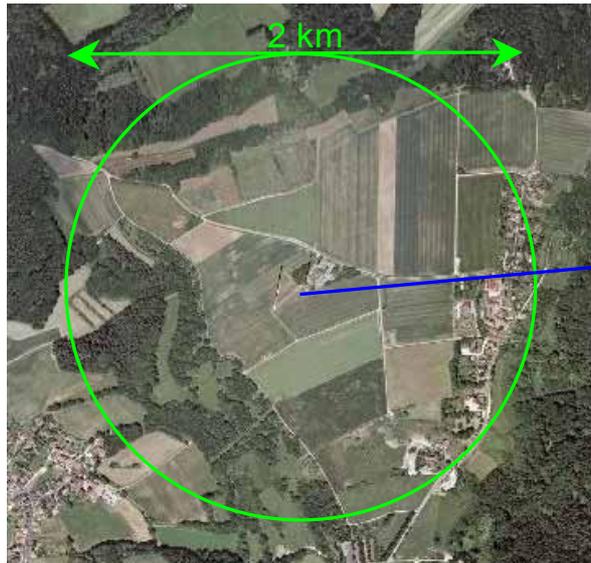


Bild III.4.10: Senderstandort Dillberg mit Messpunkten auf radial verlaufenden Linien

III.4.5.1 Bestimmung eines Abschlagswertes

Die Berechnungen bis zu einem Abstand von 1 km vom Sender haben vermutlich (vgl. Abschnitt II.3.4) die Konsequenz, dass mit deutlichen Überbewertungen der prognostizierten Immission in diesem Bereich zu rechnen ist. Hierzu werden im Folgenden Messungen in der direkten Umgebung vom Senderstandort mit entsprechenden Berechnungen verglichen. Anschließend kann hieraus geschlossen werden, in wie weit ein geeignet gewählter Abschlag eine Immissionsüberbewertung reduzieren kann. Bei allen für den Vergleich herangezogenen Punkten lag direkte Sichtverbindung zum jeweiligen Sender vor.

Zunächst wird der Senderstandort Dillberg näher betrachtet. Wie in Bild III.4.11 zu sehen, kann der betrachtete Bereich bis 1 km Entfernung zum Sender mit einer ländlich geprägten Umgebung und entsprechend geringer Mehrwegeausbreitung charakterisiert werden.



Quelle: <http://www.geodaten.bayern.de>



Senderstandort: Dillberg

Bild III.4.11: Nahbereich vom Senderstandort Dillberg

In diesem Bereich werden die berechneten Immissionen an drei im unterschiedlichen Abstand zum Sender befindlichen Punkten getrennt nach Analog-TV, DVB-T, UKW und DAB mit den entsprechenden Messwerten verglichen. Bei DVB-T und DAB ist der Vollständigkeit halber noch folgender Sachverhalt zu erwähnen. Da beide Rundfunkdienste auf einem Gleichwellennetz beruhen, überlagern sich die Signale von mehreren Senderstandorten an einem Punkt und eine exakte Zuordnung der Immission zu einem Sender ist daher generell nicht möglich. Die gemessene Immission wird dennoch nur dem Dillberg zugeordnet, da dessen Anteil aufgrund des geringen Abstandes gegenüber den restlichen Standorten dominiert. Dies wurde anhand von Berechnungen untermauert.

Die resultierenden Abweichungen (Differenz zwischen Berechnung und Messung) sind im folgenden Bild zu sehen. Jeder Balken entspricht hierbei einem Sendekanal bzw. einer vom Senderstandort Dillberg abgestrahlten Frequenz.

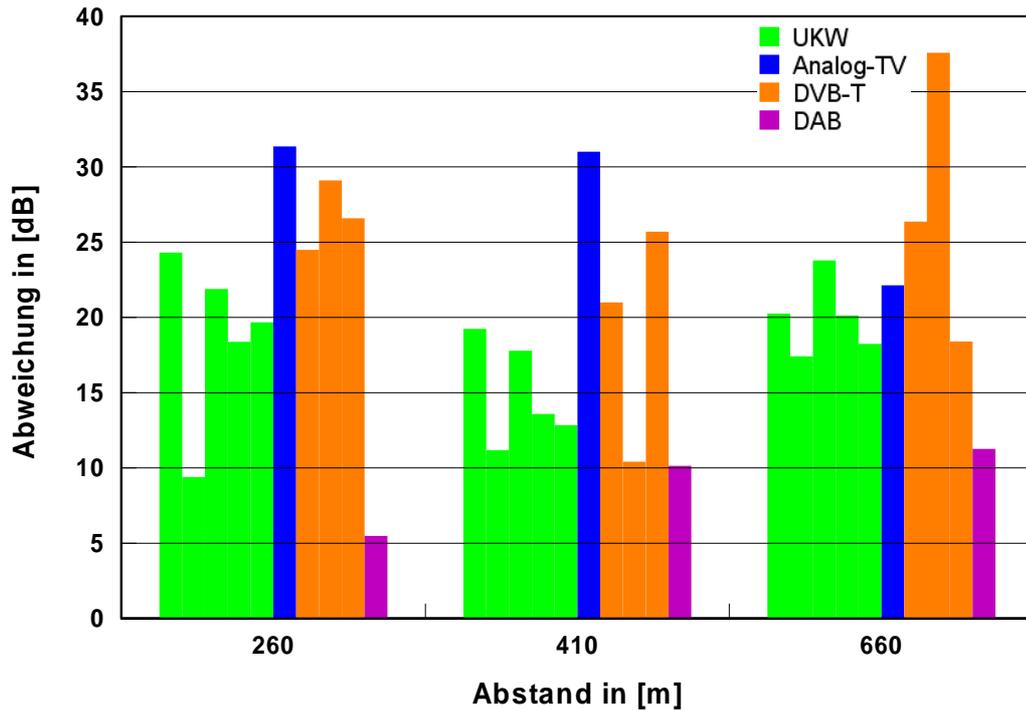


Bild III.4.12: Abweichungen zwischen Berechnung und Messung im Bereich bis zu einem Kilometer vom Senderstandort Dillberg

Das obige Bild zeigt die programmbedingt bereits vermutete Überbewertung der Immissionen in der direkten Umgebung des Senderstandortes. Hieraus lassen sich in Analogie zu den in den vorangegangenen Abschnitten eingeführten zwei Berechnungsmethoden „Optimierte mittlere betragsmäßige Abweichung“ und „Worst Case Betrachtung“ für das jeweilige System typische Abschlagswerte für den Bereich bis 1 km vom Sender ermitteln. Einerseits wurde also derjenige Abschlagswert auf alle berechneten Immissionen für das jeweilige System gesucht, bei dem sich ein globaler Minimumwert für die mittlere Abweichung ergab. Andererseits wurde derjenige Abschlagswert gesucht, für den alle berechneten Immissionswerte unter Berücksichtigung der Messunsicherheit oberhalb des messtechnisch bestimmten Wertes lag.

Diese sind in Tabelle III.4.24 dargestellt.

System	Abschlag für die Berechnungsart „Optimierte mittlere Abweichung“ (im Bereich bis 1 km vom Sender)	Abschlag für die Berechnungsart „Worst Case“ (im Bereich bis 1 km vom Sender)
UKW	15	10
Analog-TV	25	10
DVB-T	15	10
DAB	10	5

Tabelle III.4.25: Bestimmung eines Abschlages für die Berechnung bis zu einem Kilometer Entfernung vom Senderstandort

Hieran anknüpfend steht nun der Sendestandort Nürnberg-Fernmeldeturm im Mittelpunkt. Wie in folgendem Bild zu sehen, kann der betrachtete Bereich bis 1 km Entfernung zum Sender

mit einer städtisch geprägten Umgebung und entsprechend höherem Potenzial für Mehrwegeausbreitung charakterisiert werden.

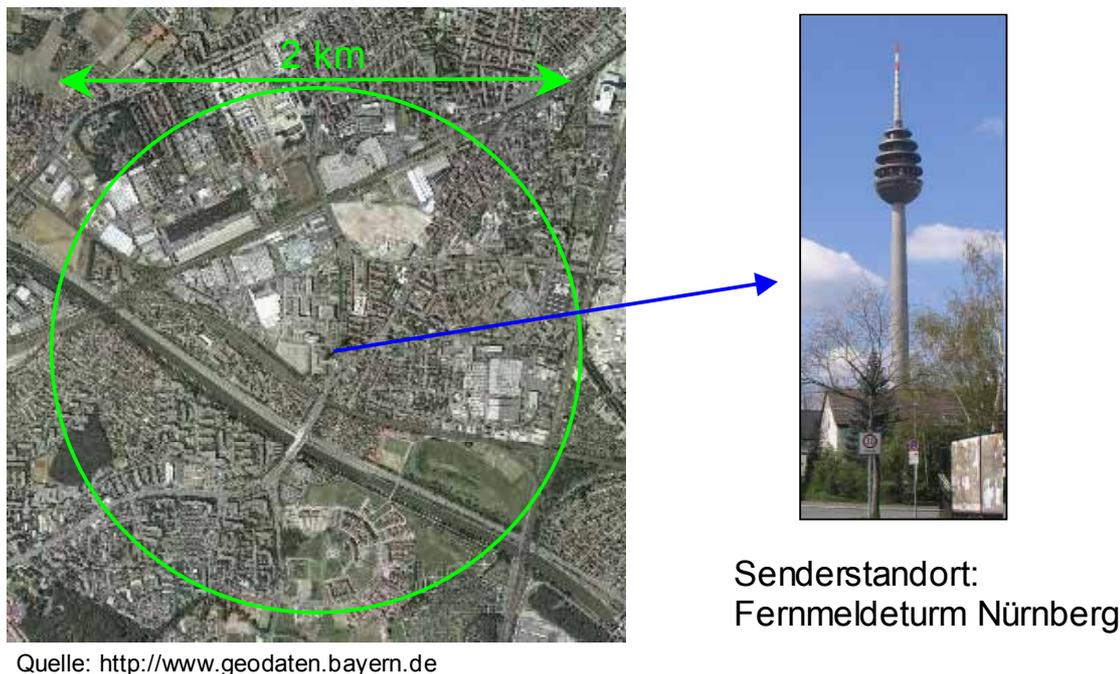


Bild III.4.13: Nahbereich vom Senderstandort Fernmeldeturm Nürnberg

Wie schon beim Dillberg wurden in diesem Bereich Vergleichspunkte in unterschiedlichen Abständen zum Sender platziert. Die resultierenden Abweichungen in Form von Differenz zwischen Berechnung und Messungen sind in Bild III.4.14 dargestellt. Jeder Balken entspricht hier wiederum einem Kanal bzw. einer abgestrahlten Frequenz.

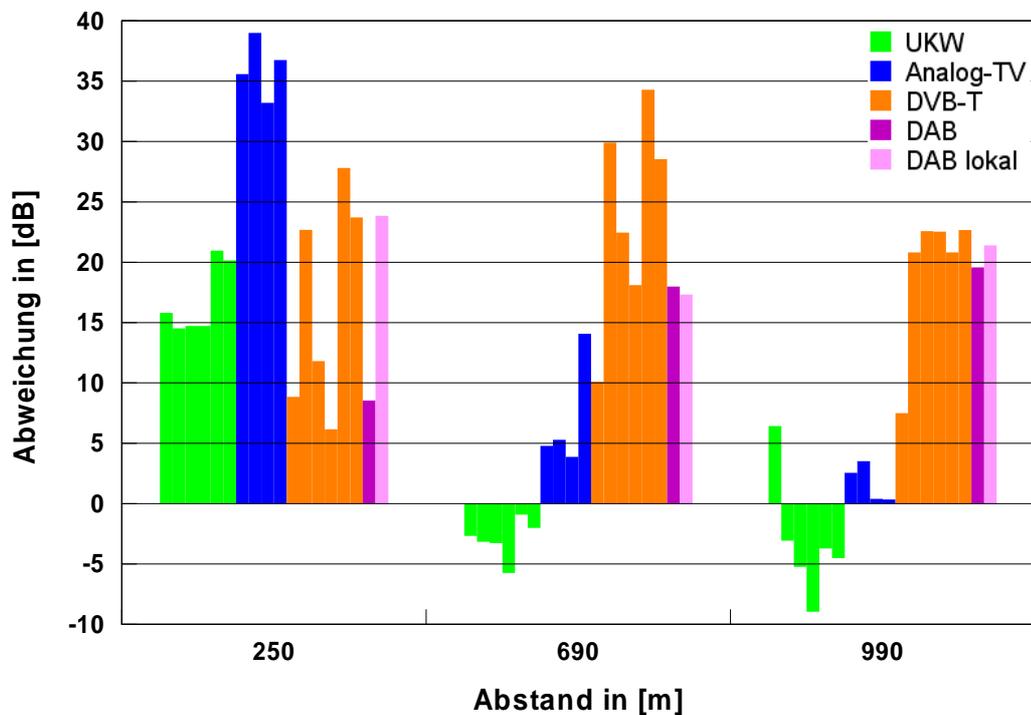


Bild III.4.14: Abweichungen zwischen Berechnung und Messung im Bereich bis zu einem Kilometer vom Senderstandort Nürnberg-Fernmeldeturm

Das Bild III.4.14 zeigt, dass die Ergebnisse nicht so eindeutig sind wie es beim Senderstandort Dillberg der Fall war. Insofern ist es schwierig, einen allgemeingültigen Abschlag für eine derartige Konfiguration abzuleiten.

Anhand der Ergebnisse macht für den hier vorliegenden Fall eine Unterteilung des Bereichs bis 500 m und größer als 500 m Sinn. Da im Folgenden der hier betrachtete Senderstandort auch für die Linienmessungen untersucht wird, können vor diesem Hintergrund folgende Abschlagswerte, die in gleicher Art und Weise wie im vorherigen Beispiel bestimmt wurden, (siehe Tabelle III.4.5) angenommen werden.

System	Abschlag für die Berechnungsart „Optimierte mittlere Abweichung“		Abschlag für die Berechnungsart „Worst Case“	
	0 – 0,5 km	0,5 – 1 km	0 – 0,5 km	0,5 – 1 km
UKW	17	-3	14	-8
Analog-TV	35	6	30	0
DVB-T	17	20	7	15
DAB	4	19	5	15
DAB lokal	12	19	20	15

Tabelle III.4.26: Bestimmung eines Abschlags für die Berechnung bis zu einem Kilometer Entfernung vom Senderstandort Nürnberg-Fernmeldeturm

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass ein Abschlag auf die berechneten Immissionen im Bereich bis 1 km Entfernung zum Senderstandort in einer ländlichen Umgebung durchaus sinnvoll ist. Die Untersuchungen im Bereich eines Senders in einer städtischen Umgebung mit einem hohen Potenzial an Mehrwegeausbreitung hat gezeigt, dass für eine derartige Konfiguration kein allgemeingültiger Faktor abgeleitet werden kann.

III.4.5.2 Linienmessungen in Nordbayern

Im Folgenden werden die Messergebnisse auf radial verlaufenden Linien ausgehend von einem Senderstandort mit entsprechend rechentechnisch prognostizierten Werten unter der Berücksichtigung der in den vorangegangenen Abschnitten getroffenen Aussagen verglichen. In Bild III.4.15 sind zwei Linien für die Region Nordbayern schematisch dargestellt.

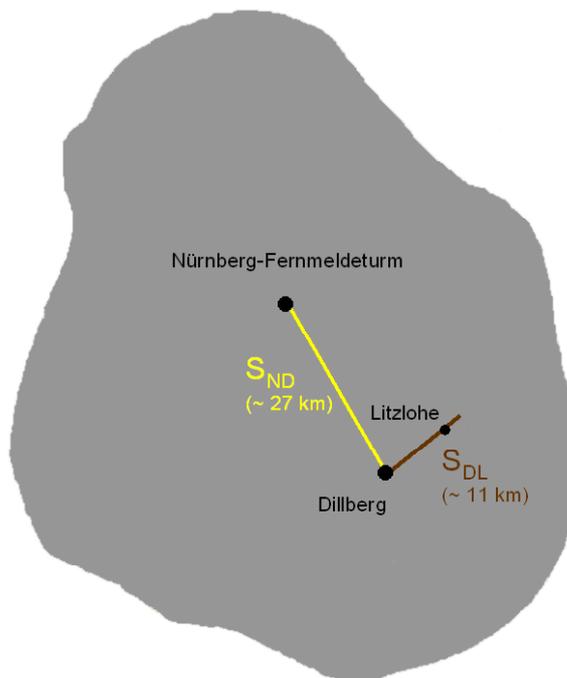


Bild III.4.15: Linienmessungen in Nordbayern

Zunächst wird die Linie S_{DL} ausgehend vom Senderstandort Dillberg betrachtet. Die zugehörigen Vergleichspunkte mit den entsprechenden Koordinaten, Korrekturen und dem zugehörigen lateralen Abstand sind in folgender Tabelle zu sehen.

Messpunkt	Koordinaten		Korrektur	lateraler Abstand In [km]
	Hochwert	Rechtswert		
S _{DL} 01	5465493	4455183	Land, offen	0,25
S _{DL} 02	5465498	4455674	Land, offen	0,66
S _{DL} 03	5465334	4456318	Land, offen	1,26
S _{DL} 04	5465801	4456834	Land, offen	1,86
S _{DL} 05	5466070	4457058	Land, offen	2,16
S _{DL} 06	5466299	4457352	Land, offen	2,52
S _{DL} 07	5466398	4458110	Land, offen	3,26
S _{DL} 08	5466781	4458550	Land, offen	3,81
S _{DL} 09	5466747	4458961	Land, offen	4,17
S _{DL} 10	5466387	4460179	Land, offen	5,24
S _{DL} 11	5467367	4460654	Land, offen	5,98
S _{DL} 12	5467543	4461982	Land, offen	7,29
S _{DL} 13	5467904	4462711	Land, offen	8,10
S _{DL} 14	5468346	4463498	Land, offen	8,98
S _{DL} 15	5468915	4465195	Land, offen	10,77

Tabelle III.4.27: Messpunkte und Abstände für die Linienmessung Dillberg - Litzlohe

Die für den Immissionsvergleich durchgeführten Berechnungen sind wie schon aus den vorangegangenen Abschnitten bekannt aufgeteilt in „optimierte mittlere Abweichung“ und „Worst Case Ansatz“. Sowohl die konfigurationsabhängigen Zuschläge wie auch die Abschläge bis zu einem Abstand von einem Kilometer (siehe Tabelle III.4.25) wurden jeweils berücksichtigt. Die folgenden zwei Bilder enthalten die Ergebnisse für den analogen Fernsehkanal 6 und exemplarisch für einen UKW-Kanal, die beide vom Dillberg abgestrahlt werden.

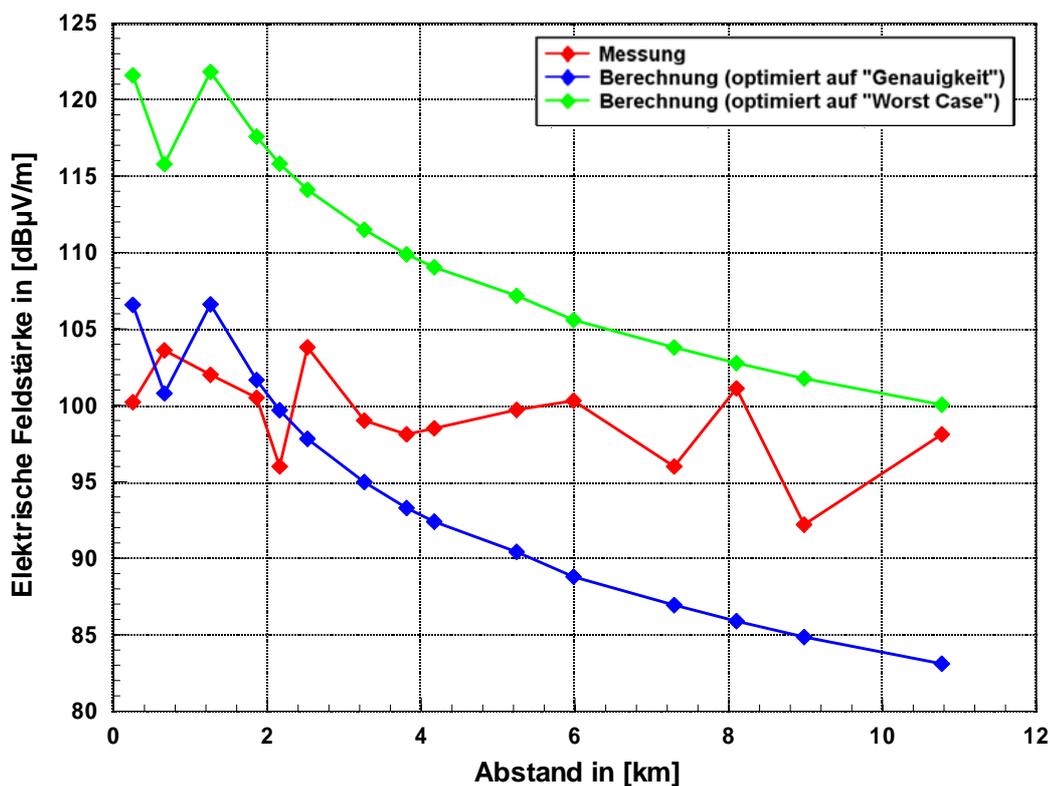


Bild III.4.16: Vergleich zwischen Messung und Berechnung, Linienmessung vom Dillberg Richtung Litzlohe, Analoges Fernsehen, Kanal 6

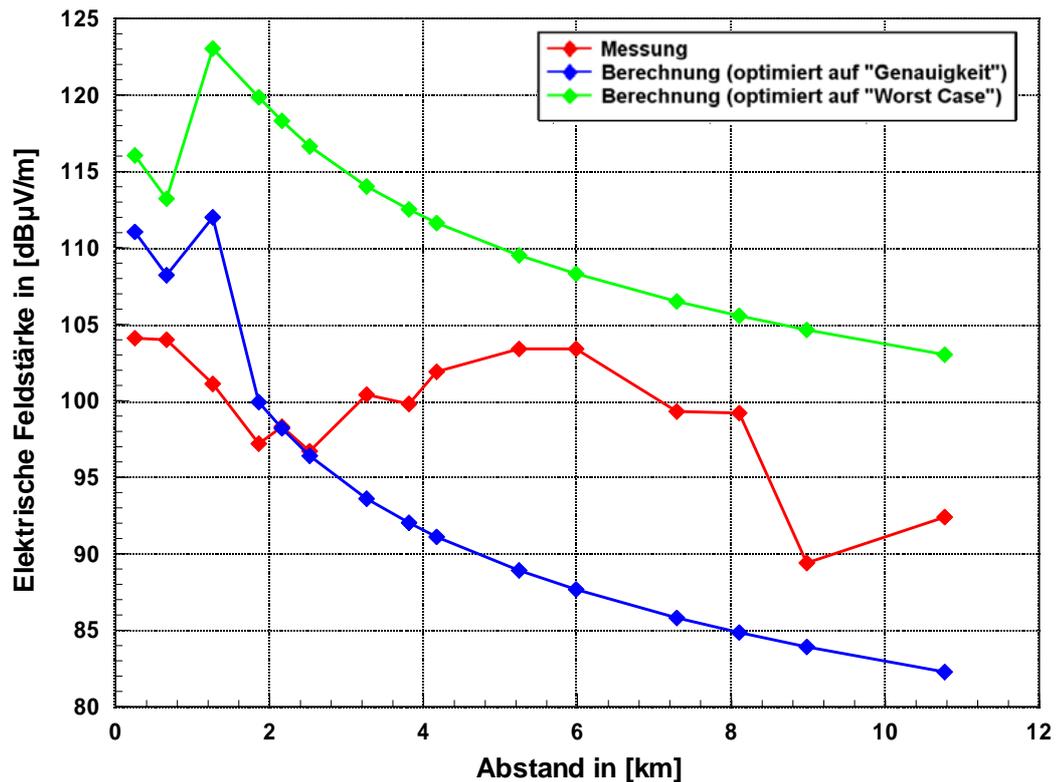


Bild III.4.17: Vergleich zwischen Messung und Berechnung, Linienmessung vom Dillberg Richtung Litzlohe, UKW

Die beiden vorangegangenen Bilder zeigen folgende Ergebnisse

- Die Berechnungsmethode „Optimierte mittlere Abweichung“ gibt etwa bis zu einer Entfernung von 4 km eine genauere Prognose, unterbewertet dann den gemessenen Wert aber zum Teil deutlich
- Die Worst Case Berechnung überbewertet die gemessene Immission an allen Punkten.

Sowohl die Ergebnisse vom analogen Fernsehen als auch von UKW zeigen einen ähnlichen Verlauf. Auffällig ist der Anstieg der gemessenen Immission ab einer Entfernung von ungefähr 4 km. Eine Erklärung hierfür liefert der Höhenverlauf entlang der Linie vom Dillberg in Richtung Litzlohe (siehe Bild III.4.18).

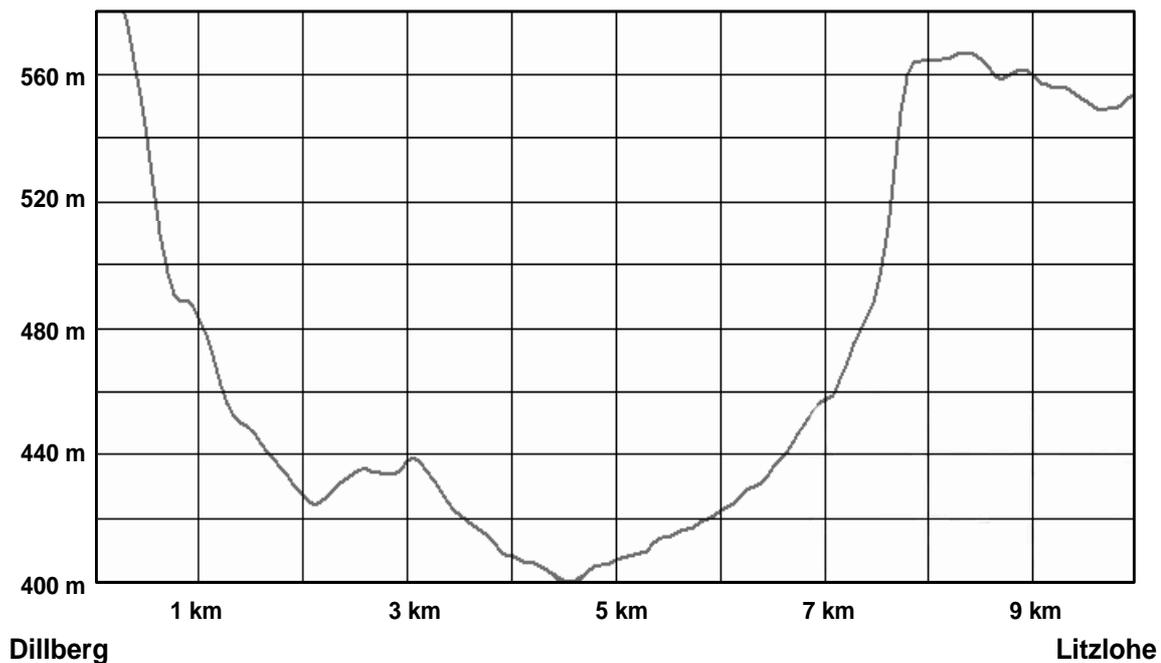


Bild III.4.18: Höhenverlauf vom Dillberg Richtung Litzlohe

Der Höhenverlauf korrespondiert gut mit den gemessenen Immissionswerten. Ab einer Entfernung von 4 - 5 km steigt das Gelände an und der Höhenunterschied zwischen Senderstandort und Messpunkt wird verringert. Der Geländeverlauf spiegelt demnach eine Konfiguration wieder, bei der das einfache Programm FPT an seine Grenzen stößt. Dies liegt darin begründet, dass in die Berechnung lediglich ein Parameter – die mittlere effektive Höhe – zur Darstellung des Geländes verwendet wird.

Als Ergebnis kann an dieser Stelle zunächst einmal festgehalten werden, dass gerade die Methode „Optimierte mittlere Abweichung“ bei derartigen Konfigurationen an ihre Grenzen stößt und mit deutlichen Unterbewertungen zu rechnen ist.

Im Folgenden werden die Immissionen entlang der Linie S_{ND} betrachtet, der zwischen den Senderstandorten Dillberg und dem Fernmeldeturm in Nürnberg verläuft. Hervorzuheben ist hierbei, dass beide Endpunkte dieser Linie Senderstandorte darstellen, so dass Vergleiche der Immissionen ausgehend von beiden Sendern betrachtet werden können. Die folgende Tabelle enthält die jeweiligen Messpunkte mit den entsprechenden Koordinaten. Die Abstände sind ausgehend vom Senderstandort in Nürnberg dargestellt.

Messpunkt	Koordinaten		Korrektur	lateraler Abstand in [km]
	Hochwert	Rechtswert		
S _{ND} 01	5477076	4430426	Abschlag	0,25
S _{ND} 02	5476743	4430965	Abschlag	0,69
S _{ND} 03	5476703	4431260	Abschlag	0,99
S _{ND} 04	5476520	4432056	Stadt, nah	1,81
S _{ND} 05	5476177	4432784	Stadt, nah	2,59
S _{ND} 06	5475586	4433220	Stadt	3,20
S _{ND} 07	5474861	4434835	Stadt	4,97
S _{ND} 08	5473518	4436990	Vorstadt	7,50
S _{ND} 09	5471446	4442252	Vorstadt	13,14
S _{ND} 10	5469820	4445780	Vorstadt	17,02
S _{ND} 11	5468993	4447813	Vorstadt	19,22
S _{ND} 12	5467986	4450136	Vorstadt	21,75
S _{ND} 13	5466695	4451041	Land, offen	23,12
S _{ND} 14	5466478	4451810	Land, offen	23,90
S _{ND} 15	5466489	4452706	Land, offen	24,71
S _{ND} 16	5466201	4453184	Land, offen	25,26
S _{ND} 17	5466291	4454904	Land, offen	26,80
S _{ND} 18	5465621	4454834	Land, offen	27,00
S _{ND} 19	5465493	4455183	Land, offen	27,37

Tabelle III.4.28: Vergleichspunkte für die Linienmessung von Nürnberg zum Dillberg

Die für den Immissionsvergleich durchgeführten Berechnungen sind wie schon in den vorangegangenen Abschnitten aufgeteilt in die zwei bekannten Arten. Sowohl die konfigurationsabhängigen Zuschläge wie auch die Abschläge bis zu einem Abstand von einem Kilometer (siehe Tabelle III.4.26) wurden jeweils berücksichtigt.. Die folgenden zwei Bilder enthalten die Ergebnisse für den analogen Fernsehkanal 6 und exemplarisch für einen UKW-Kanal, die beide vom Dillberg abgestrahlt werden.

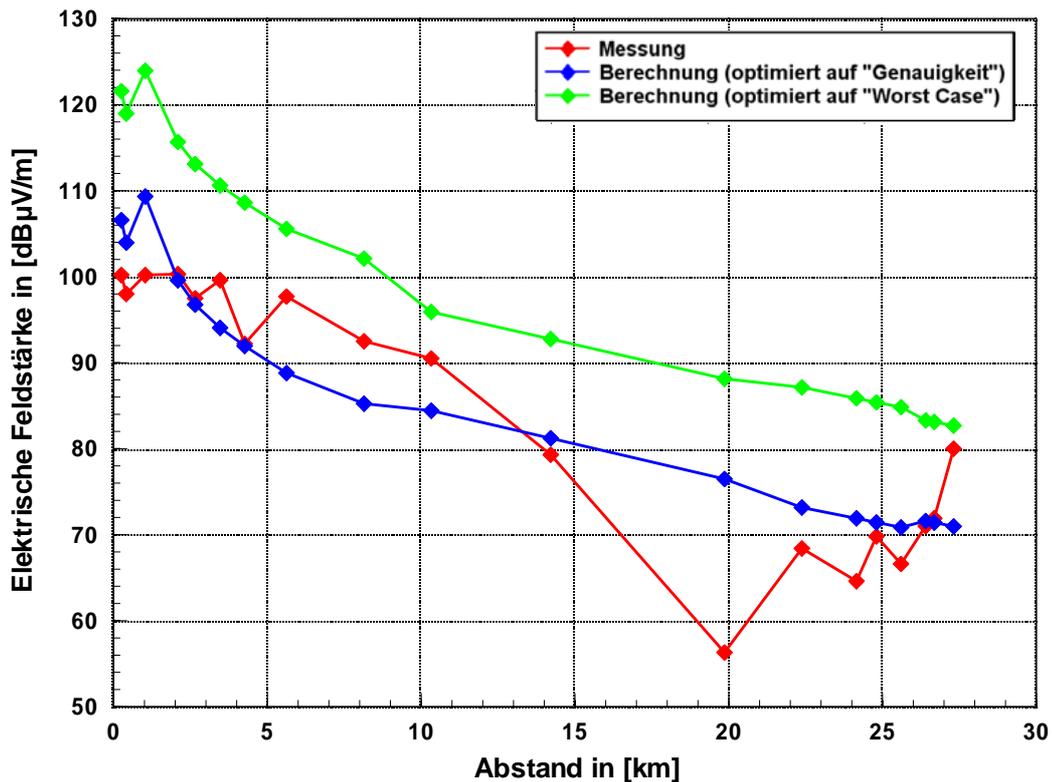


Bild III.4.19: Feldstärkeverlauf zwischen Dillberg und Nürnberg, Analoges Fernsehen, Kanal 6

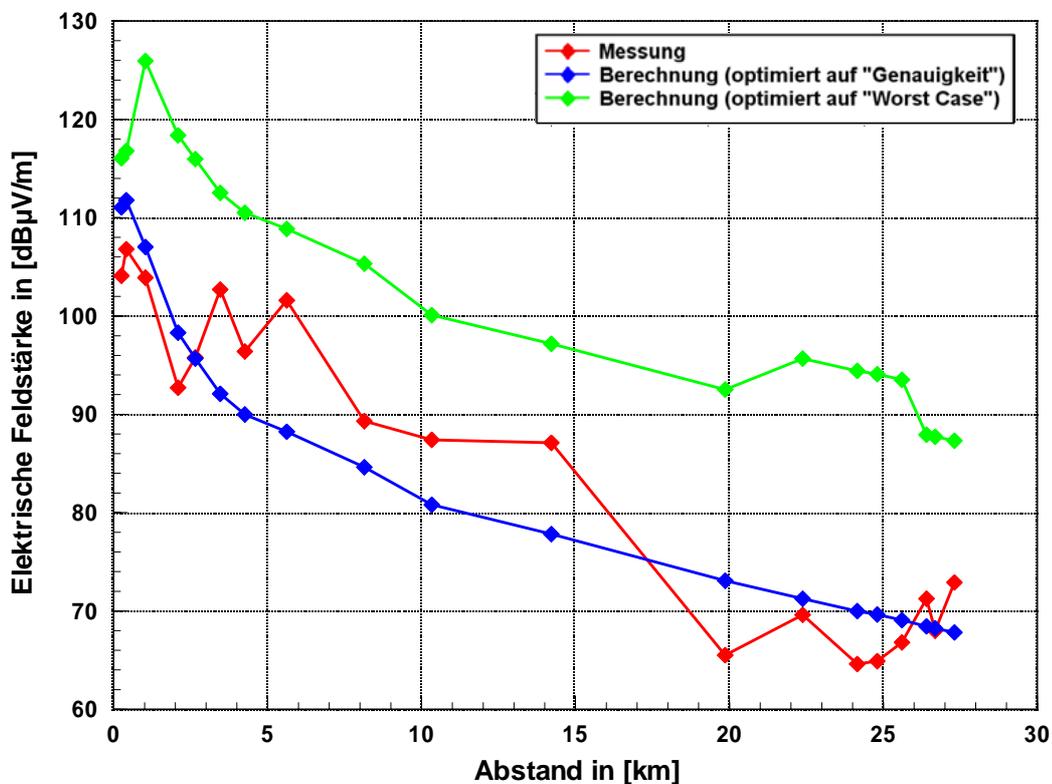


Bild III.4.20: Feldstärkeverlauf zwischen Dillberg und Nürnberg, UKW

Die beiden vorangegangenen Bilder zeigen folgende Ergebnisse

- Die Berechnungsmethode „Optimierte mittlere Abweichung“ gibt eine genauere Prognose, Unterschätzungen zum Messwert sind aber möglich
- Wiederum überbewertet die Worst Case Berechnung die gemessene Immission an allen Punkten.

Im Folgenden werden die Rundfunkdienste betrachtet, die auf dem Fernmeldeturm in Nürnberg installiert sind. Exemplarisch sind hierzu ein UKW-Kanal und das lokale DAB in den folgenden zwei Bildern dargestellt.

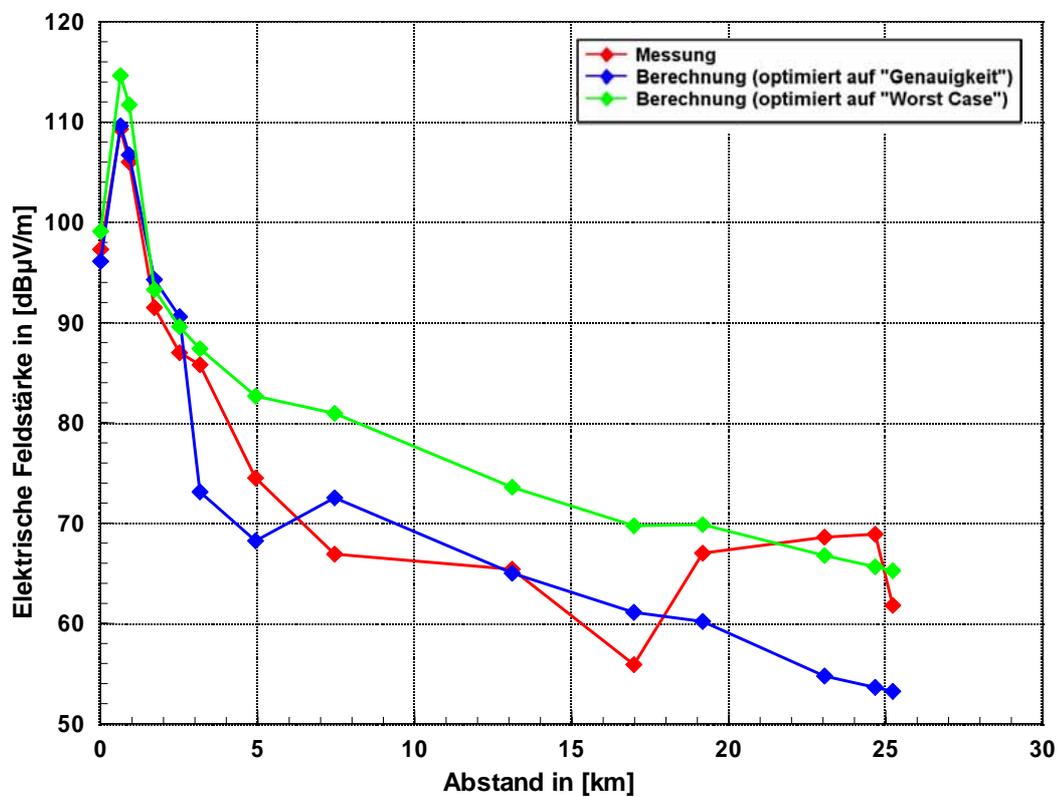


Bild III.4.21: Feldstärkeverlauf von Nürnberg-Fernmeldeturm zum Dillberg, UKW

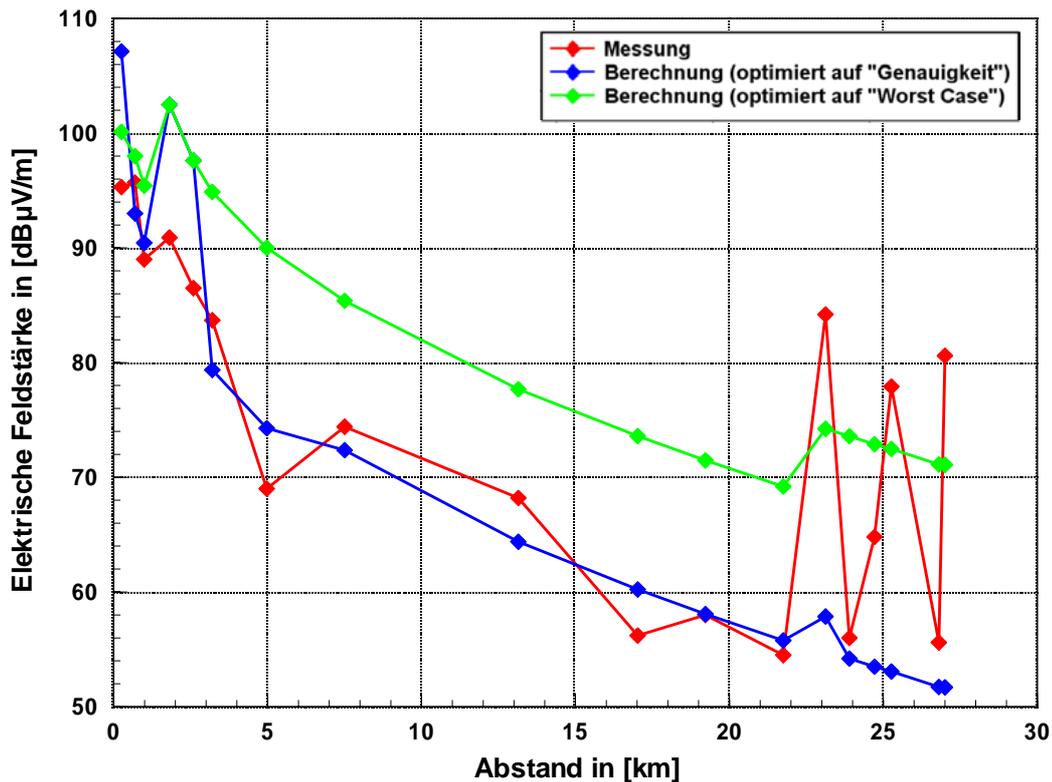


Bild III.4.22: Feldstärkeverlauf von Nürnberg-Fernmeldeturm zum Dillberg, DAB, lokal

Auffällig sind die deutlichen Feldstärkesteigerungen ab einer Entfernung von ungefähr 20 km zum Senderstandort Nürnberg. Diese liegen im Höhenprofil auf dieser Wegstrecke begründet. Wie aus Bild III.4.23 zu erkennen ist, steigt das Bodenprofil ab einer Entfernung von ungefähr 20 km zum Dillberg gesehen stark an.

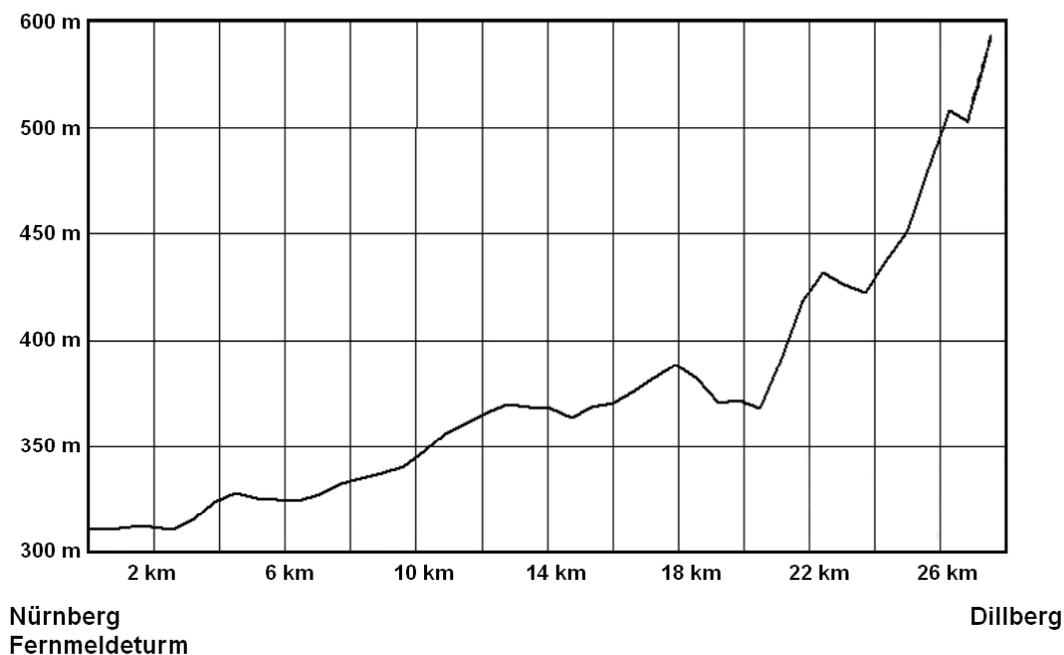


Bild III.4.23: Höhenverlauf von Nürnberg zum Dillberg

Die beiden vorangegangenen Immissionsverläufe mit dem korrespondierenden Höhenverlauf spiegeln eine Konfiguration wieder, bei der das einfache Programm FPT an seine Grenzen stößt. Dies liegt darin begründet, dass in die Berechnung lediglich ein Parameter – die mittlere effektive Höhe – zur Darstellung des Geländes verwendet wird.

Im Folgenden wird der Immissionsvergleich auf der Linie zwischen Nürnberg-Fernmeldeturm und dem Dillberg für DAB in der landesweiten Bedeckung und DVB-T durchgeführt. Hierbei ist zu beachten, dass beide als Gleichwellennetz betrieben werden. Die Signale der Senderstandorte liegen hierbei auf der gleichen Frequenz und überlagern sich entsprechend am Empfangsort. In vorliegendem Fall werden die berechneten Immissionen vom Dillberg und Fernmeldeturm Nürnberg zunächst getrennt für jeden Vergleichspunkt berechnet und anschließend leistungsmäßig addiert. Die Berechnungen sind wie schon aus den vorangegangenen Abschnitten bekannt aufgeteilt in eine auf die mittlere Abweichung optimierten Berechnung und in den Worst Case Ansatz. Die konfigurationsabhängigen Zuschläge wurden jeweils berücksichtigt. Die folgenden zwei Bilder enthalten die Ergebnisse exemplarisch für den digitalen Fernsehkanal 34 und für den landesweiten DAB-Kanal.

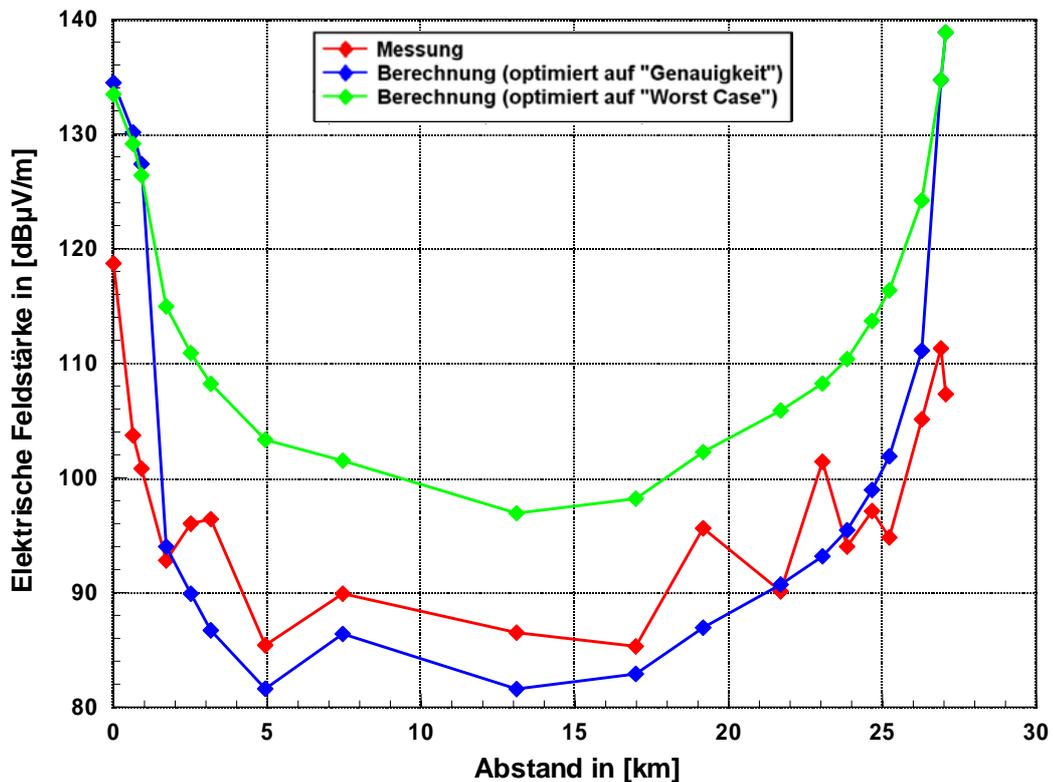


Bild III.4.24: Feldstärkeverlauf von Nürnberg-Fernmeldeturm zum Dillberg, DVB-T, Kanal 34

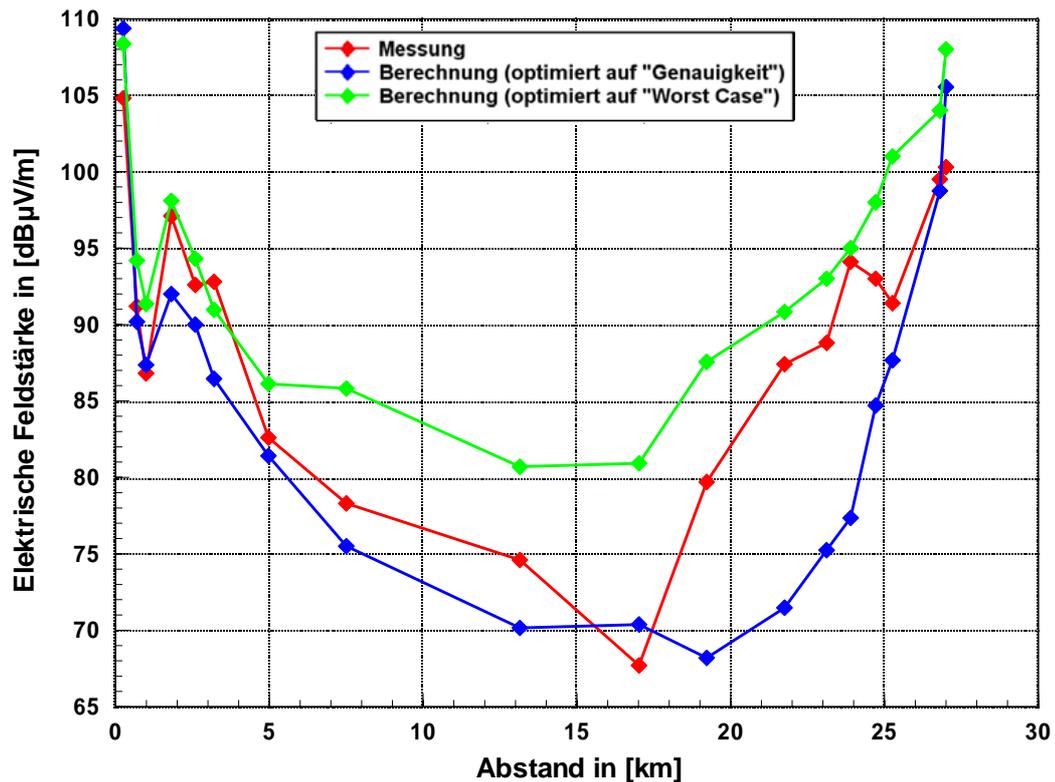


Bild III.4.25: Feldstärkeverlauf von Nürnberg-Fernmeldeturm zum Dillberg, DAB, landesweit

Die beiden vorangegangenen Bilder zeigen folgende Ergebnisse

- Die Berechnungsmethode „Optimierte mittlere Abweichung“ weist gerade in Bild III.4.24 eine genauere Prognose auf, Unterschätzungen zum Messwert sind aber möglich
- Die Worst Case Berechnung unterbewertet die Immissionen zwar an einigen Punkten, diese liegt aber im Bereich der Messunsicherheit.

III.4.5.3 Linienmessungen in Südbayern

Im Folgenden werden die Messergebnisse auf einer radial verlaufenden Linie ausgehend vom Senderstandort Wendelstein mit entsprechend rechentechnisch prognostizierten Werten unter oben angesprochenen Randbedingungen in der Region Südbayern verglichen. In Bild III.4.26 ist eine Linie schematisch dargestellt.



Bild III.4.26: Linienmessung im Bereich Südbayern

Der Ausgangspunkt für die Linie S_w ist der Sendestandort Wendelstein auf einer Höhe von ca. 1890 über NN und der Endpunkt ist Eutenhausen. Die Vergleichspunkte mit den entsprechenden Koordinaten, Korrektur und dem zugehörigen lateralen Abstand sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Messpunkt	Koordinaten		Korrektur	Lateraler Abstand in [km]
	Hochwert	Rechtswert		
S _w _01	5292203	4497702	Land, offen	7,92
S _w _02	5292971	4497605	Land, offen	8,66
S _w _03	5294711	4496308	Land, offen	10,78
S _w _04	5296006	4496493	Land, offen	11,89
S _w _05	5297113	4495702	Land, offen	13,22
S _w _06	5298067	4495231	Land, offen	14,28
S _w _07	5299066	4494681	Land, offen	15,42
S _w _08	5300964	4493656	Land, offen	17,57
S _w _09	5304398	4493103	Land, offen	20,94
S _w _10	5305783	4491980	Land, offen	22,65
S _w _11	5307235	4491881	Land, offen	24,03
S _w _12	5308231	4491480	Land, offen	25,10
S _w _13	5310689	4489739	Land, offen	28,05

Tabelle III.4.29: Vergleichspunkte für die Linienmessung Wendelstein-Eutenhausen

Die für den Immissionsvergleich durchgeführten Berechnungen sind wie schon aus den vorangegangenen Abschnitten bekannt aufgeteilt in eine auf die mittlere Abweichung optimierte Berechnung und in den Worst Case Ansatz. Die konfigurationsabhängigen Zuschläge wurden jeweils berücksichtigt. Die folgenden zwei Bilder enthalten die Ergebnisse für den analogen Fernsehkanal 10 und exemplarisch für einen UKW-Kanal, die beide vom Wendelstein abgestrahlt werden.

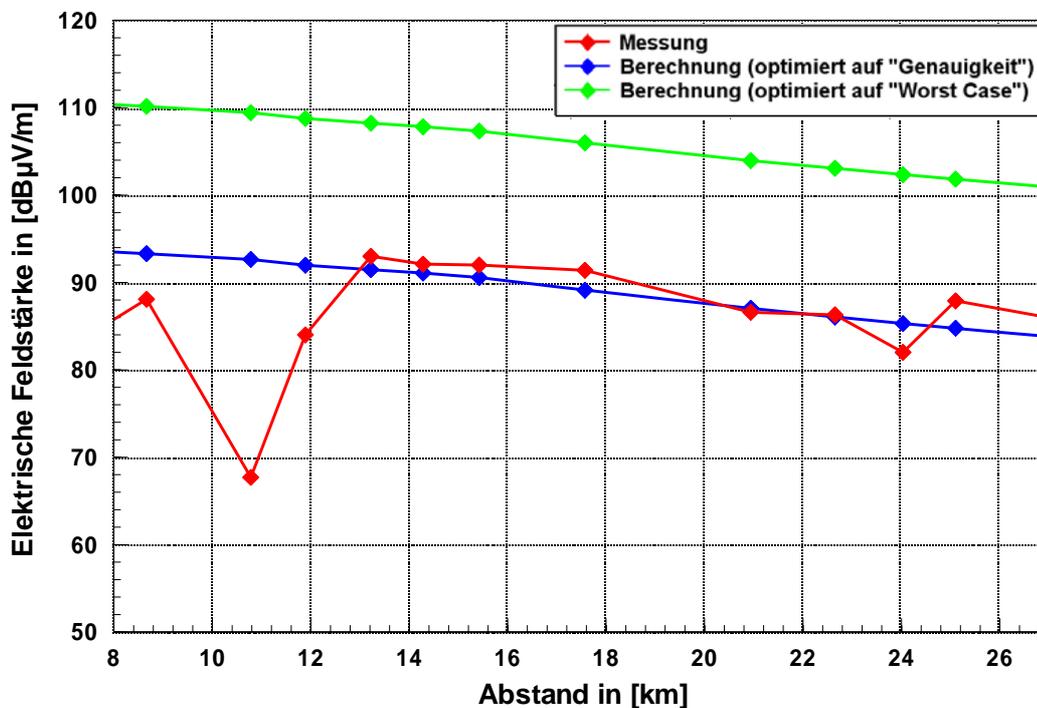


Bild III.4.27: Linienmessung zwischen Wendelstein und Eutenhausen, Analoges Fernsehen, Kanal 10

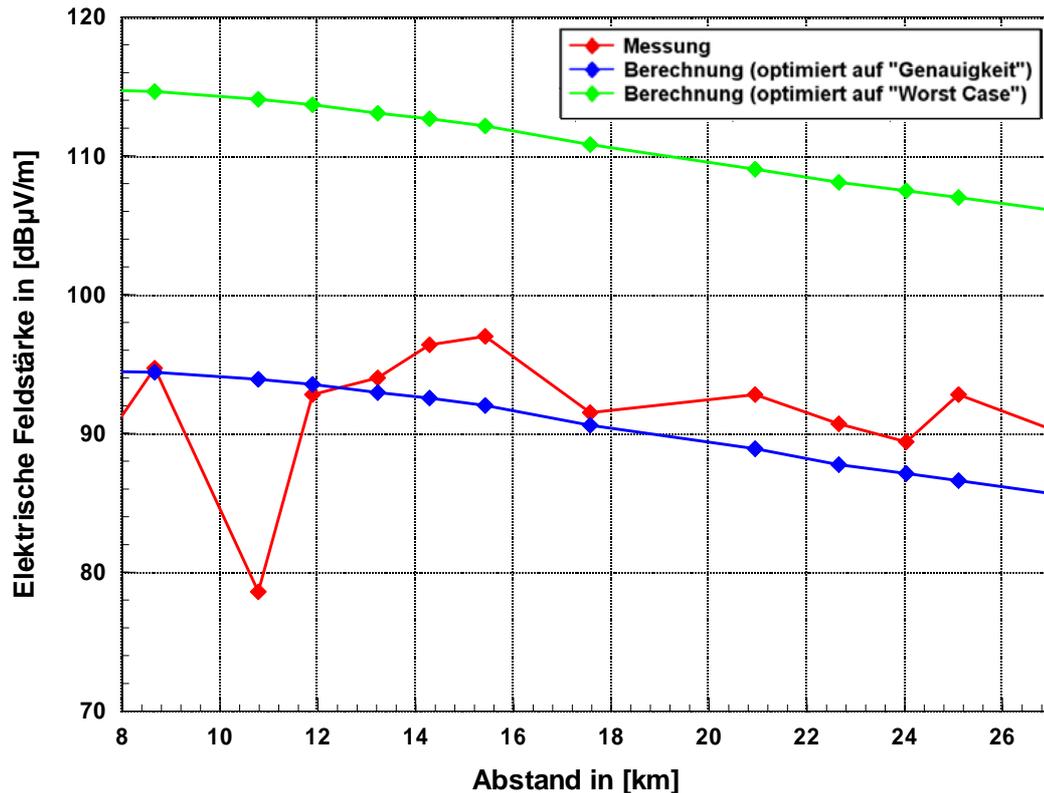


Bild III.4.28: Linienmessung zwischen Wendelstein und Eutenhausen, UKW

An den obigen Bildern ist zunächst einmal der „Einbruch“ der Messergebnisse bei knapp 11 Kilometer Abstand zum Senderstandort Wendelstein auffällig. Dieser ist in der Lage des Messpunktes begründet, der von dichtem Baumbewuchs umgeben und somit gut abgeschattet war. Darüber hinaus spiegeln beide Linienvergleiche zwischen Messungen und Berechnung am Senderstandort Wendelstein die oben genannten Ergebnisse wieder. Wohingegen mit dem Worst Case Verfahren die gemessenen Immissionen an allen Vergleichspunkten überschätzt wird, gibt die Methode „Optimierte mittlere Abweichung“ die Immission zwar genauer wieder; aber diese kann auch unterschätzt werden.

III.4.6 Fazit

Im vorangegangenen Kapitel wurde ein Vergleich zwischen rechenstechnisch mit FPT prognostizierten Feldstärkewerten und den entsprechenden gemessenen Immissionen aufgeteilt nach analogem Fernsehen, DVB-T, UKW und DAB durchgeführt. Insgesamt standen hierzu 5180 Vergleichspaare zur Verfügung.

Das Berechnungsprogramm wurde anhand der folgenden Anforderungen näher betrachtet:

- Das Berechnungsprogramm soll eine möglichst geringe mittlere betragsmäßige Abweichung bezüglich entsprechender Messwerte liefern, d.h. der betragsmäßige Unterschied zwischen der rechentechnisch ermittelten und messtechnisch erfassten Immission soll möglichst gering sein. Dies ist als ein Maß für die *Genauigkeit* der rechentechnischen Prognose anzusehen.
- Das Berechnungsprogramm soll an möglichst allen Vergleichspunkten einen höheren Immissionswert liefern, als der bei der Messung ermittelt wurde. Die Differenz zwischen Berechnung und Messung soll demnach immer größer „0“ sein bzw. der berechnete Wert soll den Messwert möglichst an allen Vergleichspunkten überbieten (dies entspricht der *100%igen Überbewertung*). Auf diese Weise kann das Verfahren als eine Worst Case - Berechnung angesehen werden.

Wünschenswert wäre die Tatsache, dass beide oben genannten Anforderungen innerhalb von einem Berechnungsschritt erreicht werden können, somit die Berechnung eine *einzig* *Feldstärke* liefert, die zum einen eine möglichst geringe Abweichung zu den Messungen erreicht und zum anderen immer möglichst knapp oberhalb der gemessenen Immission liegt. Es hat sich während der Berechnungen mit FPT gezeigt, dass sowohl die mittlere Abweichung als auch die möglichst 100%ige Überbewertung in dieser Berechnungsmethode keine voneinander unabhängigen Größen darstellen und somit die obige Anforderung nicht gleichzeitig erreicht werden kann.

Eine Berücksichtigung eines Korrekturfaktors für eine von 10 m geänderten Empfangsantennenhöhe (laut ITU-Empfehlung) in die rechentechnisch prognostizierte Immission zeigte eine geringere mittlere Abweichung zu den Messwerten als eine Berechnung ohne Korrektur, die aber einen deutlich höheren Anteil an Punkten lieferte, an denen die berechnete Immission oberhalb der messtechnisch bestimmten lag.

Daher wurde zunächst die Berechnung mit Berücksichtigung einer Korrektur anhand eines konfigurationsabhängigen Zuschlags die mittlere Abweichung betreffend optimiert und anschließend die Berechnung ohne Berücksichtigung einer Korrektur anhand eines konfigurationsabhängigen Zuschlags in der Art optimiert, dass möglichst alle Vergleichspunkte eine höhere berechnete Immission aufwies als die messtechnisch bestimmt.

Die einzelnen Konfigurationen und die zugehörigen Zuschläge für die Optimierung auf eine möglichst geringe mittlere Abweichung sind in folgender Tabelle aufgeteilt nach jeweiligem System dargestellt.

Konfiguration	Zuschläge für die Optimierung der mittleren Abweichung in [dB]				
	Analog-TV	DVB-T	UKW	DAB (landesweit)	DAB (lokal)
Stadt, dicht	8	4	6	15	13
Stadt	7	1	5	15	11
Vorstadt	2	4	-1	8	7
Land, offen	2	5	3	10	4

Tabelle III.4.30: Konfigurationsabhängige Zuschläge zur Optimierung der mittleren Abweichung zwischen Berechnungen und entsprechenden Messungen

Die Resultate dieser Vorgehensweise für die gesamte mittlere Abweichung sind in folgender Tabelle dargestellt.

System	Korrektur	Anzahl der Punkte	Mittlere Abweichung in [dB] (inklusive des jeweiligen Zuschlags)	Standardabweichung in [dB]
Analog TV	ja	1135	9,0	12,2
DVB-T	ja	948	11,5	16,2
UKW	ja	2804	8,3	13,8
DAB (landesweit)	ja	181	7,3	9,9
DAB (lokal)	ja	112	7,8	10,2

Tabelle III.4.31: Mittlere Abweichung zwischen Berechnungen und entsprechenden Messungen

Insgesamt kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass die Prognose mit dem Programm FPT aufgrund der Größe der mittleren Abweichung nur eingeschränkt geeignet ist, die Immissionen durch Rundfunksender zu berechnen. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass je nach betrachtetem Rundfunkdienst zwischen 78 und 83 % aller Punkte eine maximale Abweichung von ± 3 dB zeigten. Für diese wurde mit FPT vor dem Hintergrund der Messunsicherheit die Immission gut prognostiziert. Da es aber auch Punkte gibt, an denen zum Teil auch durch ihre geographische Lage begründet mit deutlichen Über- bzw. Unterschätzungen gerechnet werden muss, ist das Verfahren in der Praxis nur eingeschränkt geeignet, da auf Messungen nicht verzichtet werden kann.

Darüber hinaus zeigte sich, dass die Immissionsprognose für Punkte in ebenem Gelände in den meisten Fällen eine geringere mittlere Abweichung aufwies als für Punkte in bergigem Gelände.

Anschließend wurde eine Optimierung der prozentualen Überbewertung durchgeführt, deren Grundlage die Berechnungsergebnisse ohne Korrektur bildeten. Ziel hierbei war, eine maximale Unterbewertung im Bereich der Messunsicherheit zu erhalten. Auch hierfür wurden die Ergebnisse anhand eines konfigurationsabhängigen Zuschlags im Hinblick auf eine maximale Unterbewertung optimiert. Die Werte für diese Zuschläge sind in folgender Tabelle aufgeteilt nach jeweiligem System und Konfiguration dargestellt.

Konfiguration	Zuschläge für die Optimierung „Hoher prozentualer Anteil der Punkte mit Überbewertungen in [dB]“				
	Analog-TV	DVB-T	UKW	DAB (landesweit)	DAB (lokal)
Stadt, dicht	7	1	0	2	0
Stadt	3	0	14	1	0
Vorstadt	2	3	9	6	0
Land, offen	6	5	12	11	6

Tabelle III.4.32: Konfigurationsabhängige Zuschläge zur Optimierung der mittleren Abweichung zwischen Berechnungen und entsprechenden Messungen

Die Ergebnisse dieser Vorgehensweise sind in Tabelle III.4.30 zu sehen.

System	Korrektur	Anzahl der Punkte	Anzahl der Punkte (in [%]) mit Überbewertungen. (inklusive des jeweiligen Zuschlags)	Maximale Unterbewertung in [dB] (inklusive des jeweiligen Zuschlags)
Analog TV	nein	1135	98,8	2,9
DVB-T	nein	948	97,8	3,0
UKW	nein	2804	99,4	2,3
DAB (landesweit)	nein	181	93,3	2,9
DAB (lokal)	nein	112	97,4	2,3

Tabelle III.4.33: Auswertung für den Worst Case Ansatz

Die Berechnungsmethode Worst Case Ansatz kann unter der Vorgabe eines zu berücksichtigenden Zuschlags für die Immission für alle betrachteten Rundfunkdienste als geeignet angesehen werden. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass die mittlere Abweichung stark ansteigt und mit Werten von 20 - 30 dB gerechnet werden muss.

Vor dem Hintergrund, dass innerhalb des Vergleichs von Messung und Berechnung sowohl bergiges als auch ebenes Gelände berücksichtigt wurden, beinhalten die Zuschläge beide Konfigurationen, natürlich optimiert auf die Topographie in den Vergleichsregionen. Insofern sind diese Zuschläge zwar generell auf andere Regionen übertragbar – dennoch muss in derartigen Fällen auch mit differierenden Abweichungen gerechnet werden.

Da die ITU-Empfehlung erst Immissionswerte ab einem Abstand von 1 km zum Sender liefert, wurde für den Bereich bis zu einem Abstand von 1 km mit reiner Freiraumausbreitung in Hauptstrahlrichtung gesehen gerechnet. Dies resultierte darin, dass gerade bei Senderstandorten, die durch eine ländlich geprägte Umgebung charakterisiert werden können, deutliche Überbewertungen vorlagen. Abschläge von 10 - 15 dB auf den berechneten Wert sind in Abhängigkeit des Systems sinnvoll, um eine möglichst geringe mittlere Abweichung zu erhalten. Im Fall einer Worst Case Betrachtung ergaben sich 5 – 10 dB.

Im Gegensatz dazu gestalteten sich die Resultate für einen Senderstandort im städtischen Gebiet für eine Auswertung schwieriger. Ein allgemeingültiger Faktor für einen typischen Abschlag konnte für derartige Szenarien nicht abgeleitet werden. Lediglich für den vorliegenden Fall wurden geeignete Abschläge ermittelt.

Ein Vergleich der Immissionsverläufe anhand von radial vom Sender ausgehenden Linien hat gezeigt, dass gerade in Konfigurationen, in denen das Gelände bei weiterer Entfernung vom Standort stark ansteigt, das Programm FPT an seine Grenzen stößt. Dies liegt daran, dass der Geländeverlauf nur durch eine einzelne Größe – der mittleren effektiven Höhe – berücksichtigt wird. Hierbei berechnet die Methode „optimierte mittlere Abweichung“ zum Teil einen deutlich niedrigeren Wert im Vergleich zum gemessenen. Der Worst Case Ansatz kann zwar auch leichte Unterbewertungen liefern, diese liegen aber in der Größenordnung der Messunsicherheit. Bei anderen Konfigurationen (z.B. „Linienmessung“ ausgehend vom Wendelstein) spiegelten die Immissionsverläufe die folgenden Resultate wieder:

- Die Berechnungsmethode „Optimierte mittlere Abweichung“ weist eine genauere Prognose auf, Unterschätzungen zum Messwert sind aber möglich
- Die Worst Case Berechnung überbewertet die gemessenen Immissionen unter der Berücksichtigung der Messunsicherheit an allen Punkten.

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, sowie für die vielen fachlichen Diskussionen und Anregungen.

Darüber hinaus hat nicht zuletzt auch die konstruktive Mitarbeit der Betreiber T-Systems Business Services GmbH, des Bayerischen Rundfunks und der Bayern Digital Radio GmbH einen großen Anteil am Gesamtprojekt. Dies betrifft vor allem die Bereitstellung der Antennendiagramme für die rechenstechnischen Simulationen. In diesem Zusammenhang seien Herr Hatzinger vom Bayerischen Rundfunk, Herr Schröter von der T-Systems sowie Herr Trotzberger und Herr Widmann vom Digitalradio Bayern dankend erwähnt.

Für die Bereitstellung von Senderdaten seien Herr Haß von der GARV GmbH, Herr Hummel vom NDR, Herr Friedrich vom Bayerischen Rundfunk und Herr Bär von T-Systems dankend erwähnt.

Bei der Entwicklung des Simulationstools FPT sei an dieser Stelle Herrn Baacke vom iMB-Ingenieurbüro [iMB] für die konstruktive Zusammenarbeit ausdrücklich gedankt.

Ferner sind Herr Wölflé und Herr Wahl von der Firma AWE Communications für die kostengünstige Bereitstellung der Software Winprop dankend zu erwähnen. Sehr wertvoll waren die schnellen Reaktionen und die Unterstützung bei der Software und darüber hinaus gehende Fragen.

Ebenfalls Dank gebührt den Mitarbeitern der Firma Rohde & Schwarz im Kompetenzzentrum Sendertechnik in Teisnach für die Gelegenheit, Messungen an realen analogen und digitalen TV-Sendern durchführen zu können. Weiterhin sei den Herren Kausche und Mielke aus der Zentrale von Rohde & Schwarz in München für die problemlose Unterstützung mit Signalgeneratoren und Spezialmessgeräten gedankt.

Ein besonderes Dankeschön geht auch an Herrn Dr. Bernkopf vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) für die Überlassung der Koordinaten und vieler Fotos der Messpunkte aus dem Programm "EMF-Monitoring Bayern" des LfU.

Vergessen werden sollen an dieser Stelle auch nicht die Herren Brückner (Umweltamt der Stadt Nürnberg), Lippert (Referat für Gesundheit und Umwelt der Landeshauptstadt München) und Dr. Rechenbach (O₂, München), die uns den Zugang zu den untersuchten Hochhäusern ermöglichten.

Literaturverzeichnis

- [0848-1_1995] **DIN VDE 0848-1**, *Sicherheit in elektromagnetischen Feldern. Teil 1: Mess- und Berechnungsverfahren*. Entwurf, Beuth-Verlag Berlin, Mai 1995.
- [0848-1_2000] **DIN VDE 0848-1**, *Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern. Teil 1: Definitionen, Mess- und Berechnungsverfahren*. VDE-Verlag Berlin, August 2000.
- [26. BImSchV] **26. BImSchV**, Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV), BGBl. Jg. 1996 Teil I Nr. 66, 20.12.1996.
- [99/519/EG] **1999/519/EG**, *Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)*, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 199/59, 30.07.1999.
- [3DEM] <http://www.visualizationsoftware.com/3dem.html>
- [ANF 04] **Agence Nationale des Fréquences**, Panorama du rayonnement électromagnétique en France, Maisons-Alfort cedex, www.anfr.fr, (2004)
- [ASEB 03] **Arbeitsgemeinschaft Schaffner, Ecosens, Brüniger**, *Messungen der nichtionisierenden Strahlung im Nieder- und Hochfrequenzbereich an ausgewählten Orten auf dem Kantonsgebiet Schwyz*, Abschlussbericht für die Kantonsverwaltung Schwyz, Wallisellen, (2003).
- [AWE 05] <http://www.awe-communications.com>
- [BAY] <http://www.geodaten.bayern.de>
- [BAY 00] Bayerischer Rundfunk, Deutsche Telekom, Institut für Rundfunktechnik, Rohde & Schwarz, Bayerische Medien Technik, Digitales terrestrisches Fernsehen in Bayern: DVB-T Feldversuch Bayern, Abschlussbericht, München, Februar 2000.
- [BEMFV] **BEMFV**, Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder, BGBl. Jg. 2002 Teil I Nr. 60, 27.08.2002.
- [BER 04] **J. Bernkopf**, *Monitoring elektromagnetischer Felder an statistisch ausgewählten Orten in Bayern*, NIR 2004 Nichtionisierende Strahlung Sicherheit und Gesundheit, 36. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Köln, 31.8.-2.9.2004, S. 411-418, (2004)
- [BGV] **BGV B11 (VBG 25)**, *Unfallverhütungsvorschrift Elektromagnetische Felder*, Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektronik, 01.06.2001.
- [BGR] **BGR B11 (ZH1/257)**, Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: *Elektromagnetische Felder*, Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektronik, Juni 2001.

- [BLM 05] **Bayerische Landeszentrale für neue Medien**, www.blm.de; Pressemitteilung, München 13.10.2005.
- [BNetzA 2003] **Frequenznutzungsplan**, *BNetzA: Bundesnetzagentur*, 2003
- [BNetzA] http://www.bundesnetzagentur.de/enid/fb780826fae1d5f235856dffa2a0ac65,0/Rundfunk/Senderdaten_ng.html
- [BNetzA 03] **BNetzA MV 09/EMF/3**, *Messvorschrift für bundesweite EMVU-Messreihen der vorhandenen Umgebungsfeldstärken*, BNetzA Bonn, Ausgabe Februar 2003.
- [BOR 02] **Chr. Bornkessel und J. Pamp**, *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 Literaturstudie zu bestehenden Mess- und Berechnungsverfahren*, Kamp-Lintfort, (2002).
- [BOR 04] **Chr. Bornkessel und M. Schubert**, *Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen*, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, *Zwischenbericht Analyse der Immissionsverteilung*, 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*, Kamp-Lintfort, (2005).
- [BOR 96] **C. Bornkessel, T. Becks und U. Kullnick**, *Katastermäßige Erfassung der elektromagnetischen Belastung in Nordrhein-Westfalen: Vorschläge zur Durchführung*, IMST-Report, Kamp-Lintfort, (1996).
- [BMWI 00] **Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie**, *Digitaler Rundfunk in Deutschland – Startscenario 2000*, <http://www.bmwi.de>, 2000.
- [BR 04] www.br-online.de
- [BUWAL 02] **Messempfehlung für GSM-Basisstationen**, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (METAS), Bern, (2002).
- [BUWAL 05] **Rundfunk- und Funkrufsendeanlagen - Vollzugsempfehlung zur NISV**, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, (2005).
- [CEPT 00] Implementation of the Chester Agreement, Naples, 2000.
- [CEPT 03] **CEPT/ECC/Recommendation (02)04**, *Measuring Non-Ionising Electromagnetic Radiation (9 kHz - 300 GHz)*, Maisons Alfort, (2003).

- [CEPT 95] **DAB – Digital Audio Broadcasting**, The CEPT T-DAB Planning Meeting, Wiesbaden, July 1995.
- [CEPT 97] **CEPT**, The Chester 1997 Multilateral Coordination Agreement relating to Technical Criteria, Coordination Principles and Procedures for the introduction of Terrestrial Digital Video Broadcasting (DVB-T), Chester, 1997.
- [CIC 93] **D.J. Cichon, T. Kürner und W. Wiesbeck**, *Modellierung der Wellenausbreitung in urbanem Gelände*, Frequenz , vol. 47, S. 2-11, (1993).
- [CIC 94] **D.J. Cichon**, *Strahlenoptische Modellierung der Wellenausbreitung in urbanen Mikro- und Pikofunkzellen*, Dissertation, Universität Karlsruhe, ISSN 0942-2935, Band 8 (1994).
- [COS 99] **COST 231**, *Digital Mobile Radio towards Future Generation Systems*, Final Report, European Commission, EUR 18957, (1999).
- [COST] <http://www.ihe.uni-karlsruhe.de/forschung/cost231/cost231.en.html>
- [D-Sat] **Software D-Sat**, Buhl Data Service GmbH, Am Siebertsweiher 3-5, 57290 Neunkirchen, www.buhl-data.com
- [DAM 95] **P. Dambacher**, *Digitale Technik für Hörfunk und Fernsehen*, R. v. Decker Verlag, (1995).
- [DAM 97] **P. Dambacher**, *Digitale Technik für den Fernsehgrundfunk*, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, (1997).
- [DEU 00] **Deutsche TV-Plattform**, Bericht der Arbeitsgruppe: Übergang von analogem zum digitalen terrestrischen Fernsehen, www.tv-plattform.de, 2000.
- [DEY 66] **J. Deygout**, *Multiple Knife Edge Diffraction for Microwaves*, IEEE Trans. Ant. Prop., vol. 4, S. 480-489, (1966).
- [DEY 91] **J. Deygout**, *Correction Factor for Multiple Knife-Edge Diffraction*, IEEE Trans. Ant. Prop., vol. 39, S. 1256-1258 (1991).
- [DIG] <http://www.digitalradio.de>
- [DOT 00] **M. Döttling**, *Strahlenoptisches Wellenausbreitungsmodell und Systemstudien für den Satellitenmobilfunk*, Dissertation, Universität Karlsruhe, Band 26 (2000).
- [EPS 53] **J. Epstein, D.W. Peterson**, *An Experimental Study of Wave Propagation at 850 MHz*, Proc. IRE, vol. 41, S. 595-611, (1953).
- [FCC 97] **FCC Federal Communications Commission Office of Engineering and Technology**, *Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields*. OET Bulletin 65, August 1997.
- [FIS 04] **W. Fischer**, *Digital Television*, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, (2004).

- [FUL 02] **K. Fuller, A.D. Gulson, P.M. Judd, A.J. Lowe und J. Shaw**, *Radiofrequency electromagnetic fields in the Cookridge Area of Leeds*, NRPB-W23, Chilton Didcot, (2002)
- [G30] <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.asp>
- [GIO 84] **C.L. Giovaneli**, *An Analysis of Simplified Solutions for Multiple Knife-Edge Diffraction*, IEEE Trans. Ant. Propagat., vol. 32, S. 297-301, (1984).
- [HAT 80] **M. Hata**, *Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Services*, IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 29, S. 317-325, (1980).
- [ICNIRP 98] **ICNIRP Guidelines**, Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), Health Physics, vol. 74 no. 4, S. 494-522, (1998).
- [IEEE C95.1] **IEEE Std C95.1-1999 Edition**, IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, IEEE, New York, USA, 1999.
- [IEEE C95.3] **IEEE Std C95.3-1991**, IEEE Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwave, IEEE, New York, USA, 1992.
- [iMB] Ingenieurbüro Michael Baacke; <http://www.imb-software.de>
- [ITU 370] **ITU-R P.370**, Propagation in Non-Ionized Media: VHF and UHF Propagation Curves for the Frequency Range from 30 MHz to 1000 MHz, Geneva, (1995); <http://www.itu.int/rec/R-REC-P/e>
- [ITU 1546] **ITU-R P.1546-1**, Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz, (2001-2003); <http://www.itu.int/rec/R-REC-P/e>
- [KAT] <http://www.kathrein.de>
- [KEL 96] **H. Keller**, *Normgerechte Personenschutzmessungen im HF- und Mikrowellenbereich mit den Feldstärkemessgeräten EMR-20 / EMR-30*, Firmenschrift Wandel & Goltermann, Eningen, (1996).
- [KEL 05] **H. Keller**, *Grundlagen und Anwendung moderner Spektrumanalysatoren*, Firmenschrift Narda Safety Test Solutions, Pfullingen, (2005).
- [KEL 06] **H. Keller**, *Grundlagen und Anwendung des Selective Radiation Meter SRM-3000*, Firmenschrift AN_HF_1000, Narda Safety Test Solutions, Pfullingen, (2006).
- [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, (2004).

- [LEB 91] **M. Lebherz**, Wellenausbreitungsmodelle zur Versorgungsplanung im VHF/UHF-Bereich unter Berücksichtigung der Mehrwegeausbreitung, Dissertation, Universität Karlsruhe, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, (1991).
- [LEV 92] **M.F. Levy**, Diffraction Studies in Urban Environment with Wide-Angle Parabolic Equation Method, *Electronics Letters*, vol. 28, S. 1491-1492, (1992).
- [LFM] **Landesmedienanstalt NRW**, <http://www.lfm-nrw.de>; 10-Thesen-Papier ist unter <http://www.lfm-nrw.de/downloads/dab-thesen.pdf> abrufbar
- [LUE 82] **R.J. Luebbers et al.**, *GTD Terrain Reflection Model Applied to ILS Glide Scope*, *IEEE Trans. Aerosp. Electr. Syst.*, vol. 18, S. 11-20, (1982).
- [MABB] **Medienanstalt Berlin-Brandenburg**, <http://www.mabb.de>; Pressemitteilung vom 23.11.2004
- [MAT 95] **C. Mattiello**, *Electromagnetic Field Studies in Urban Environments with a Higher-Order Parabolic Equation*, *Proc. Int. Conf. Ant. Prop. ICAP*, S. 355-358, (1995).
- [MÄU 98] **R. Mäusl**, *Repetitorium - Fernsehtechnik*, Rohde & Schwarz, München, (1998).
- [MÄU 03] **R. Mäusl**, *Fernsehtechnik*, Hüthig Verlag, Heidelberg, (2003).
- [MEN 04] **H. Menges, U. Bochtler, R. Eidher und M. Wuschek**, *Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg*, NIR 2004 Nichtionisierende Strahlung Sicherheit und Gesundheit, 36. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Köln, 31.8.-2.9.2004, S. 405-410, (2004)
- [MON 00] **MONTENA EMC**, *Hintergrundbelastung im Frequenzbereich 100 kHz - 3 GHz unter besonderer Berücksichtigung der Mobilfunkbänder*, Messbericht für das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Rossens, (2000).
- [NES 00] **A. Neskovic, N. Neskovic und G. Paunovic**, *Modern Approches in Modelling of mobile Radio Systems Propagation Environments*, *IEEE Communications Surveys*, (2000).
- [NES 96] **A. Neskovic, N. Neskovic und G. Paunovic**, *Measurements and Analysis of the Electric Field Level in Band 450 MHz*, Project of Power Distribution Company, Belgrade 1996
- [OKU 68] **Y. Okumura**, *Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Services*, *Rev. Electrical. Comm. Lab.*, vol. 16, S. 825-873, (1968).
- [PAU 84] **D. Paunovic, Z. Stojanovic und I. Stojanovic**, *Choice of a suitable method for the prediction of the Field Strength in Planning Land Mobile Radio Systems*, *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol. 33, no. 3, S. 259-265, (1984).

- [PAUL 04] **M. Pauli und Chris Weck**, Digitaler Rundfunk: Aspekte der Strahlungsemission, FGF Newsletter 3/2004.
- [prEN 50413] **prEN 50413**, *Basic Standard on Measurement and Calculation Procedures for Human Exposure to Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (0 Hz - 300 GHz)*. CENELEC Draft Standard, November 2003.
- [prEN 50420] **prEN 50420**, *Basic standard for the evaluation of human exposure to electromagnetic fields from a stand alone broadcast transmitter (30 MHz – 40 GHz)*. CENELEC Draft Standard, Februar 2004.
- [prEN 50421] **prEN 50421**, *Product standard to demonstrate the compliance of stand alone broadcast transmitter with the reference levels or the basic restrictions related to human exposure to radio frequency electromagnetic fields (30 MHz – 40 GHz)*. CENELEC Draft Standard, Februar 2004.
- [RAD 04] **Radiowoche**, <http://www.radiowoche.de>, Newsarchiv 27.11.2004
- [RAU 00] **Chr. Rauscher**, *Grundlagen der Spektrumanalyse*, Rohde & Schwarz, München, (2000).
- [RIZ 97] **K. Rizk, J.F. Wagen und F. Gardiol**, *Two-Dimensional Ray-Tracing Modeling for Propagation Prediction in Microcellular Environments*, IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 46, S. 508-518, (1997).
- [RTCG 99] **Radio Technology & Compatibility Group**, *Sea Path Propagation Measurements*, Report No. RTL 479, 14 July 1999
- [RUS 93] **T.A. Russell, C.W. Bostian und T.S. Rappaport**, *A Deterministic Approach to Predicting Microwave Diffraction by Buildings for Microcellular Systems*, IEEE Trans. Ant. Prop., vol. 41, S. 1640-1649, (1993).
- [S 1120] **ÖNORM S 1120**, Mikrowellen- und Hochfrequenzfelder, Zulässige Expositionswerte zum Schutz von Personen im Frequenzbereich 30 kHz bis 3000 GHz, Messungen., Vornorm, Österreich, 01. Juli 1992.
- [SRTM] <http://www.dlr.de/srtm/produkte/produkte.htm>
- [TELL 80] **R.A. Tell und E.D. Mantioly**, *Population Exposure to VHF and UHF-Broadcast Radiation in the US*, IEEE Proc. 68, (1980)
- [TREP 4] Initial ideas concerning the revision of the Stockholm (1961) Agreement, Technical Annex: Criteria for planning DVB-T
- [UEB] <http://www.ueberallfernsehen.de>
- [VAN 93] **G.A.J. Van Dooren, C.J. Haslett und M.F. Levy**, *Diffraction by a Rectangular Building: Comparison of Three Field-Strength Prediction Techniques*, Electronics Letters, vol. 29, S. 1334-1335, (1993).
- [VAN 93a] **G.A.J. Van Dooren, M.H.A.J. Herben**, *Field Strength Prediction Behind Lossy Dielectric Obstacles by Using the UTD*, Electronics Letters, vol. 29, S. 1016-1018, (1993).

- [VAN 93b] **G.A.J. Van Dooren, M.H.A.J. Herben**, *Polarization-Dependent Site-Shielding Factor of a Block-Shaped Obstacle*, Electronics Letters, vol. 29, S. 15-16, (1993).
- [VAN 94] **G.A.J. Van Dooren**, *A Deterministic Approach to the Modelling of Electromagnetic Wave Propagation in Urban Environments*, PhD Thesis, Eindhoven University, ISBN 90-9006889-9, (1994).
- [VTP] <http://www.vterrain.org>
- [WECK 03] **C. Weck**, *Digitaler Hör- und Fernsehrundfunk: Aspekte der Strahlungsemission*, 5. Workshop Elektromagnetische Felder in der Umwelt, MUNLV, Düsseldorf, 2.Dezember 2003.
- [WI 04] <http://www.remcom.com>
- [WITT 04] **Norddeutscher Rundfunk**, Hörfunk- und Fernsehsender in der Bundesrepublik Deutschland, NDR Abteilung Sendertechnik Wittsmoor, Stand Januar 2004
- [WUS 02] **M. Wuschek**, *Feldstärkemessungen in der Umgebung von GSM-Mobilfunkbasisstationen*, EMV 2002 10. Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit, VDE-Verlag Berlin, Offenbach, S. 683-692, (2002).
- [WUS 04] **M. Wuschek**, Korrekte Erfassung der Immissionen von modernen, breitbandigen Funksystemen, NIR 2004 Nichtionisierende Strahlung Sicherheit und Gesundheit, 36. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Köln, 31.8.-2.9.2004, S. 372-380, (2004)
- [WUS 04-2] **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)
- [WUS 04-3] **M. Wuschek und C. Bornkessel**, *EMF-Messprojekt Berlin*, Newsletter der Forschungsgemeinschaft Funk e.V., Nr. 4/2004, S. 68-74, Bonn, (2004)

Abkürzungsverzeichnis

BlmSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BNetzA	Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Schweiz)
CCIR	Comité Consultatif International des Radiocommunications (frz.) → Internationales beratendes Komitee für Rundfunkfragen
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (frz.) → Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (engl.) → Europäische Konferenz der Verwaltungen für Post und Telekommunikation
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (engl.)
DAB	Digital Audio Broadcasting (engl.) → Digitale Radio Übertragung
DEM	Digitales Elevations Modell
DGM	Digitales Gelände Modell
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying (engl.) → Phasentastung mit vier Zuständen (differentiell)
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Terrestrial (engl.) → Digitales terrestrisches Fernsehen
DVB-S	Digital Video Broadcasting – Satellite (engl.) → Digitales Fernsehen über Satellit
DVB-C	Digital Video Broadcasting – Cable (engl.) → Digitales Fernsehen über Kabel
DVB-H	Digital Video Broadcasting – Handheld (engl.) → Digitales Fernsehen für mobile Endgeräte
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power (engl.) → Äquivalente isotrope Strahlungsleistung
EMVU	Elektromagnetische Verträglichkeit zur Umwelt
ERP	Equivalent Radiated Power (engl.) → Äquivalente Strahlungsleistung bezogen auf einen $\lambda/2$ -Dipol
FDM	Finite Differenzen Methode
FDTD	Finite Difference Time Domain (engl.) → Finite Differenzen im Zeitbereich
FEM	Finite Elemente Methode
FM	Frequenzmodulation
FPT	Field Prediction Tool (engl.) → Feld Prognose Programm
FR	Freiraumausbreitung

GIS	Geographisches Informationssystem
GO	Geometrical Optics (engl.) → Geometrische Optik
GSM	Global System of Mobile Communication (engl.) → Globales System für Mobilkommunikation (Mobilfunkstandard)
GTD	Geometrical Theory of Diffraction (engl.) → Geometrische Beugungstheorie
ITU	International Telecommunications Union (engl.) → Internationale Fernmeldeunion
LMK	Lang-, Mittel- und Kurzwellentondrundfunk
LOS	Line of Sight (engl.) → Sichtverbindung
MABB	Medienanstalt Berlin-Brandenburg
MEC	Method of Equivalent Currents (engl.) → Methode der äquivalenten Ströme
MPEG	Moving Pictures Experts Group (engl.) → Expertengruppe zur Codierung bewegter Bilder
MUSICAM	Masking pattern-adapted Universal Subband Integrated Coding And Multiplexing (engl.) → Verfahren zur Quellencodierung von Audiosignalen
NLOS	Non Line of Sight (engl.) → keine Sichtverbindung
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (engl.)
PEP	Peak Envelope Power (engl.) → Maximale Hüllkurvenleistung
PO	Physical Optics (engl.) → Physikalische Optik
PTD	Physical Theory of Diffraction (engl.) → Physikalische Beugungstheorie
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying (engl.) → Phasentastung mit vier Zuständen (4-PSK)
QAM	Quadraturamplitudenmodulation
RBW	Resolution bandwidth (engl.) → Auflösebandbreite
BNetzA	Bundesnetzagentur
RMS	Root Mean Square (engl.) → Effektivwert
Span	Frequenzbereich bei frequenzselektiven Messgeräten = Endfrequenz – Anfangsfrequenz des dargestellten Spektrums
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
VHF	Very High Frequencies (engl.)
UHF	Ultra High Frequencies (engl.)
UKW	Ultrakurzwelle
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System (engl.) → Universales Mobilkommunikationssystem
USGS	U.S. Geological Survey (engl.) → Geologische Überwachungsbehörde der USA

UTD	Uniform Theory of Diffraction (eng.) → Verallgemeinerte geometrische Beugungstheorie
VBW	Video bandwidth (engl.) → Videobandbreite
VTP	Virtual Terrain Project (engl.) → Virtuelles Erdoberflächen Projekt
ZF	Zwischenfrequenz

Verzeichnis häufig verwendeter Symbole

d	Entfernung
f	Frequenz
h	Höhe
h_a	Sendeantennenhöhe über Grund (Masthöhe)
h_{eff}	effektive Antennenhöhe (berücksichtigt die Umgebung)
k	Erweiterungsfaktor bei Normalverteilung
k	Antennenfaktor (logarithmiert)
r	Abstand
r_a	Reflexionsfaktor der Antenne
r_s	Reflexionsfaktor des Spektrumanalysatoreingangs
t	Erweiterungsfaktor für Student-Verteilung
B	Bandbreite
B_{Signal}	Bandbreite des zu messenden Signals
B_R	Rauschbandbreite
D	Maximale geometrische Ausdehnung einer Antenne
D_B	Beugungsdämpfung
E	Elektrische Feldstärke
H	Magnetische Feldstärke
K	Korrekturfaktor für Bandbreitenhochrechnung
K	Antennenfaktor
P	Leistung
P	Vertrauensintervall
S	elektrische Leistungsflussdichte
U	elektrische Spannung
Z_{F0}	Feldwellenwiderstand des freien Raumes
$\lambda_{(0)}$	(Freiraum-) Wellenlänge
λ	Wellenlänge
μ	Mittelwert
σ	Standardabweichung
ΔL	Pegelfehler