

Fachhochschule Lausitz
Studiengang Elektrotechnik

Diplomarbeit

Rayko Glowa

Matrikel Nr. 202102

Thema:

Berechnung elektromagnetischer Felder von
Mobilfunkanlagen mit WinField[®] Telecommunication

Diplombetreuer: Prof. Hahn
Prof. Stein
Dr. rer. nat. Plotzke

Abgabe der Arbeit: 18.06.2004

Zielsetzung und Themenschwerpunkte:

- 1) Beschreibung der Netzorganisation von Mobilfunknetzen und Einführung in die Technik von Mobilfunkbasisstationen

- 2) Betrachtung der möglichen Beeinflussung von Personen durch Mobilfunksendeanlagen; Rechtliche Grundlagen und Richtlinien zur Bewertung von elektromagnetischer Verträglichkeit

- 3) Grundlagen der Feldberechnung von WinField[®] Telecommunication sowie Vergleich des Berechnungsmodells mit analytischen Formeln

- 4) Auswahl verschiedener Mobilfunkbasisstationen; Einholen der technischen Daten und Erstellung der Antennenbibliotheken für WinField[®] Telecommunication

- 5) Berechnung der elektromagnetischen Felder der ausgewählten Anlagen und Vergleich der Ergebnisse mit den zulässigen Grenzwerten; Darstellung und Beurteilung in bürgernahe Form

- 6) Zusammenfassung, Betrachtung des Arbeitsaufwandes und des Nutzens

Berlin 2004, (C) Copyright FGEU mbH.

Alle Angaben und Daten dieser Diplomarbeit sind vertraulich. Vervielfältigung, Reproduktion und Weitergabe an dritte Personen, Unternehmen und Institutionen, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der FGEU mbH.

INHALTSVERZEICHNIS

VERZEICHNIS VERWENDETER SYMBOLE.....	VI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	VII
1 EINLEITUNG	1
2 ORGANISATION UND BESTANDTEILE VON MOBILFUNKNETZEN.....	2
2.1 Drahtlose Übertragungssysteme	2
2.2 GSM	4
2.2.1 GSM Architektur	4
2.3 UMTS	5
2.3.1 UMTS Architektur	6
2.4 Mobilfunkbasisstationen	7
2.5 Mobilfunkantennen	8
2.5.1 Aufbau	8
2.5.2 Richtcharakteristik	8
2.5.3 Antennenausrichtung.....	10
2.5.4 Antennengewinn	11
2.5.5 Vor-Rück-Verhältnis.....	11
2.5.6 Polarisisation	12
3 BEEINFLUSSUNG DER UMWELT DURCH ELEKTROMAGNETISCHE STRAHLUNG.....	13
3.1 Einteilung elektromagnetischer Strahlung	13
3.2 Bekannte Wirkungen	14
3.3 Diskutierte Effekte	16
4 GESETZLICHE GRUNDLAGEN UND RICHTLINIEN	20
4.1 26. BImSchV.....	20
4.2 DIN VDE 0848	22
4.3 Standortbescheinigung	23
4.4 Regeln zum Arbeitsschutz.....	24

5	THEORIE DER FELDBERECHNUNG UND WINFIELD®	
	BERECHNUNGSMODELL	25
5.1	Berechnungsvorschrift nach DIN VDE 0848	25
5.2	Betrachtung Nahfeld – Fernfeld	26
5.3	Programmbeschreibung WinField® Telecommunication	28
5.4	Berechnung mit WinField® Telecommunication	31
5.4.1	Glätten der Pattern von Antennen	32
5.4.2	Segmentierung der Antenne	32
5.4.3	Synthetisches Modell zur Berechnung der Elektrischen Feldstärke	33
5.4.4	Schirmwirkung von Gebäuden	34
5.5	Vergleich der Berechnungen	35
5.5.1	Vorbetrachtung	35
5.5.2	Ergebnis	36
5.6	Vorteile einer Simulation	37
5.7	Darstellung der Abstrahlung von Mobilfunkfeldern	39
6	VORSTELLUNG DER ZU BERECHNENDEN MOBILFUNKANLAGEN.....	45
6.1	Vorwort	45
6.2	Standort 1: Brentanostraße 30 in Steglitz	46
6.3	Standort 2: Altkanzlerstraße 3 „Krumme Lanke“ in Zehlendorf	47
6.4	Standort 3: Machnower Straße 3 in Zehlendorf	49
6.5	Standort 4: Potsdamer Chaussee 42 in Zehlendorf	51
6.6	Standort 5: Schloßstraße 17 „Bierpinsel“ Steglitz	53
6.7	Andere Standorte	55
7	BERECHNUNG DER MOBILFUNKSTANDORTE	57
7.1	Einführung	57
7.1.1	Festlegungen	57
7.1.2	Fehlerquellen	58
7.2	Durchführung	59
7.3	Standort 1: Brentanostraße 30	60
7.4	Standort 2: Altkanzlerstraße 3 „Krumme Lanke“	64
7.5	Standort 3: Machnower Straße 3	69
7.6	Standort 4: Potsdamer Chaussee 42	73
7.7	Standort 5: Schloßstraße 17 „Bierpinsel“	77

7.8	Auswertung.....	82
8	FORSCHUNGS- UND AUFKLÄRUNGSMABNAHMEN FÜR MOBILFUNKFELDER	83
9	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	87
10	ANHANG	89
10.1	Verifizierung der Berechnungsergebnisse zu Kapitel 5.5	89
10.1.1	Verwendete Antenne	89
10.1.2	Einstellungen bei WinField®	90
10.1.3	Ergebnisse bei WinField®	90
10.1.4	Ergebnisse von WinField® im Vergleich zu MS Excel™	91
10.2	Adressen zu Internetportalen.....	96
	LITERATURVERZEICHNIS.....	VIII

VERZEICHNIS VERWENDETER SYMBOLE

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit
C	Richtcharakteristik	—
D	Abstand	m
E	elektrische Feldstärke	V/m
f	Frequenz	Hz
G	Antennengewinn	dB
H	magnetische Feldstärke	A/m
P	Leistung	W
r	Radius	m
S	Leistungsflussdichte	W/m ²
Z ₀	Wellenwiderstand	Ω
λ	Wellenlänge	m

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
CDMA	Code Division Multiple Access
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EEG	Elektroenzephalogramm
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
GPRS	General Packet Radio Service
INIRC	International Non-Ionizing Radiation Committee
IRPA	International Radiation Protection Association
ISDN	Integrated Services Digital Network - dt.: digitale Dienste integrierendes Kommunikationsnetz
Kita	Kindertagesstätte
KW	Kurzwelle
MS	Microsoft
MW	Mittelwelle
NISV	Schweizer Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung
RegTP	Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post
REM	Rapid Eye Movement
TV	Television
UV	Ultraviolett (ultraviolette Strahlung)
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik

1 EINLEITUNG

Der starke Ausbau von Mobilfunknetzen ist global weit fortgeschritten und heute unabdingbar für die moderne Kommunikation. Für funktionierende und flächendeckende Netze herrscht eine große Häufigkeit und flächenmäßige Dichte von Mobilfunkbasisstationen.

Wegen oft falscher Informationen und unzureichender Aufklärung stößt dies aber immer häufiger auf den Widerstand der Anwohner. Deshalb ist es von großem Interesse die Felder in der näheren Umgebung von Mobilfunkanlagen räumlich zu berechnen und anschaulich darzustellen.

Mit dem von der Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie (FGEU) entwickelten Programm WinField[®] Telecommunication kann dies schnell, genau und kostengünstig geschehen. Die FGEU bietet mit dem WinField[®]-Softwarepaket diverse normgerechte Feldberechnungen und Immissionsprognosen für nieder- und hochfrequente elektrische Anlagen an.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es ausgesuchte Standorte in Berlin, anhand der technischen Daten, mit der Software nachzubilden und die Felder zu berechnen. Es werden die Funktionsweise und die Vor- bzw. Nachteile des Programms WinField[®] Telecommunication erläutert und anhand dieser Beispiele verdeutlicht. Dafür werden die gültigen Rechtsvorschriften, die zum Schutz der Bevölkerung vor Exposition durch elektromagnetische Felder in diversen Gesetzen und Normen festgehalten sind, als Maßstab herangezogen.

Im Vorfeld dazu werden grundlegende Fakten über den Aufbau von Mobilfunknetzen und den dazugehörigen Basisstationen sowie mögliche Wirkungen von elektromagnetischen Feldern und die Berechnungsmethoden der Felder dargelegt.

Als Ergebnis der Arbeit werden die Berechnungsergebnisse anschaulich dargestellt. Dazu werden die nötigen Daten und Arbeitsschritte mit der Simulations- und Berechnungssoftware erläutert. Außerdem wird gezeigt, dass im Sinne des heutigen Kenntnisstandes und bei Einhaltung der gültigen Vorschriften keine Gefährdung für die Bevölkerung besteht.

2 ORGANISATION UND BESTANDTEILE VON MOBILFUNKNETZEN

Der große Durchbruch der mobilen Kommunikation erfolgte etwa Anfang der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts, nach der Einführung des digitalen Mobilfunks für die Sprachkommunikation. Zwar gab es vorher bereits analoge Mobilfunknetze, aber die zu schwere und teure Technik bremsten die flächendeckende Verbreitung aus. Der Standard, durch den es möglich war mehr Mobiltelefone auf den Markt zu bringen, als in Deutschland Festnetzanschlüsse vergeben sind, heißt GSM (Global Systems for Mobile Communication) [1, S. 345]. Heutzutage gibt es in Deutschland vier große Anbieter, die ein quasi flächendeckendes Netz nach dem GSM-Standard betreiben und überall mobile Kommunikation erlauben.

GSM wurde 1990 von der ETSI standardisiert und ist in Europa das Mobilfunksystem der zweiten Generation. Der Standard wird unterschieden in GSM900, da es im 900 MHz Band operiert und in GSM1800, welches entsprechend um 1800 MHz angesiedelt ist. In Deutschland nutzen die D-Netze den GSM900 Standard, während der GSM1800 Standard bei den E-Netzen Anwendung findet.

Darüber hinaus befindet sich ein neues System im Aufbau, welches zu den Mobilfunksystemen der dritten Generation zählt. Das UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) verwendet Frequenzen um 2 GHz und soll, wie es der Name schon sagt, universal einsetzbar sein. Bei voller Funktionstüchtigkeit sind hierbei Übertragungsraten von bis zu 2 Mbit/s möglich und damit sollen multimediale Inhalte mobil zugänglich gemacht werden.

2.1 Drahtlose Übertragungssysteme

Bei Diensten die europaweit (und darüber hinaus) Verbreitung finden sollen, ist es ausgeschlossen mit hohen Sendeleistungen das gesamte Gebiet überdeckend einheitliche Funkfrequenzen zu verwenden. Dies wäre eine sehr ineffiziente Nutzung der Frequenzen, da jede Frequenz in so großem Gebiet nur einmal genutzt werden könnte. Auf diese Weise müssten für ausreichende

Übertragungskapazitäten so große Frequenzbereiche zur Verfügung stehen, wie sie nicht annähernd vorhanden sind. Aus diesem Grund sind alle modernen Systeme zellulare Systeme. Sie bestehen aus kleinen Funkzellen, die durch Sende-/Empfangsstationen (Basisstationen) mit geringer Sendeleistung gebildet werden.

Zur schematischen Verdeutlichung eignet sich das Wabenmodell. Hierbei ist jeder Wabenzelle eine Funkfrequenz zugeordnet und von Nachbarzellen mit unterschiedlicher Frequenz umgeben. Neben einer Gruppe kann wieder eine Gruppe mit den selben Frequenzen verwendet werden. Damit ist nur ein schmaler Frequenzbereich nötig.

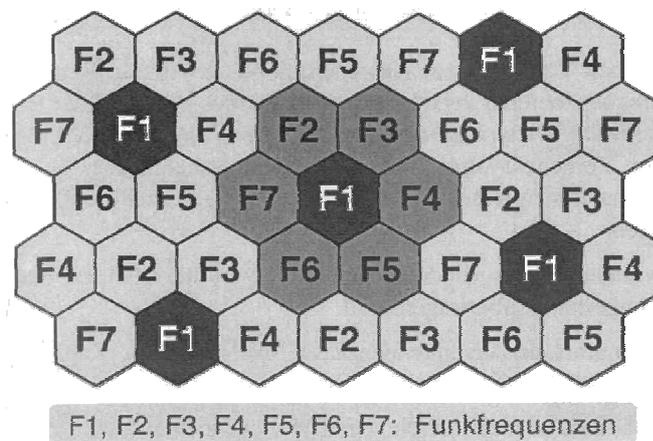


Abb. 2-1: Schematische Darstellung der Zellstruktur eines Funknetzes [1, S. 351]

Anders als in der Abbildung sind die Grenzen in der Praxis aber keineswegs so streng und regelmäßig. Um sicheren Empfang zu gewährleisten, überschneiden sich die Sendebereiche der Zellen. Außerdem ist die Zellgröße den Notwendigkeiten angepasst. In Bereichen mit hohem Verkehrsaufkommen werden kleine Zellen gebildet, um die Anzahl der Verkehrskanäle zu erhöhen. In Gebieten mit geringerem Verkehrsaufkommen hingegen können die Zellen relativ groß gestaltet werden. [1, S. 350 f]

Bei den kleinen Zellen ist es zudem von Vorteil, dass nur geringe Sendeleistungen aufgebracht werden müssen und die davon ausgehende elektromagnetische Strahlung minimiert werden kann. Allerdings bedeuten kleine Zellen auch eine große Anzahl von Zellen, die alle von Basisstationen versorgt werden müssen. Dies erhöht den Aufwand an Wartung, technischer Logistik und Standortsuche

enorm. Auch die Anforderungen an die Sende- und Empfangsgeräte liegen für ein funktionierendes System extrem hoch.

2.2 GSM

Im GSM900 System liegen die Sendefrequenzen der Feststation (*downlink*, zu den Mobilstationen) im Frequenzbereich zwischen 935 und 960 MHz und die Empfangsfrequenzen (*uplink*, von den Mobilstationen) zwischen 890 und 915 MHz. Die im Frequenzmultiplex betriebenen Funkkanäle haben eine Bandbreite von 200 kHz. Bei den verfügbaren 25 MHz entstehen 124 Vollduplexkanäle für die Kommunikation und ein weiterer, nur für das System intern. Jeder dieser 124 Kanäle enthält per Zeitmultiplex 8 Nutzkanäle [1, S.355]. GSM1800 funktioniert auf ähnliche Art und Weise, jedoch liegen hier die Downlink-Frequenzen zwischen 1805 und 1880 MHz und die Uplink-Frequenzen im Bereich von 1710 bis 1785 MHz.

2.2.1 GSM Architektur

Ein GSM System besteht aus drei Subsystemen (Untersystemen).

Das erste Untersystem ist das *Radio Subsystem*, das Funk subsystem, welches in *Mobile Stations* (MS, Mobilstationen) und das *Base Station Subsystem* (BSS, Feststationen) eingeteilt wird. Mit Mobilstationen ist das mobile Endgerät eines Teilnehmers, also das Handy gemeint. Dies beinhaltet das Funkgerät (Sende-/Empfangseinrichtung) sowie Authentifizierungs- und Identifikationsmodule. Zu den Feststationen zählen neben den Sende-/Empfangseinheiten (*Base Transceiver Stations*, BTS), also den fest installierten Antennenanlagen, auch die daran angeschlossenen Steuereinheiten (*Base Station Controller*, BSC). Die Steuereinheiten übernehmen einerseits die Verwaltung der Funkschnittstelle und andererseits bilden sie die Verbindung zum zweiten Untersystem, dem *Network and Switching Subsystem* (NSS, Vermittlungssystem).

Das Vermittlungssystem wird durch *Mobile Switching Center* (MSC) realisiert. Über die MSCs werden Verbindungen von einer Mobilstation zu anderen Teilnehmern, der gleichen Funkzelle, der gleichen MSC oder auch zu Teilnehmern anderer Netze hergestellt. Dazu müssen die MSCs wissen, wo sich jeder

Teilnehmer aufhält und über weitere relevante Daten über ihn verfügen. Um dies zu realisieren, verfügen die MSCs über eine Reihe von Datenbanken. Die erste davon ist das *Home Location Register* (HLR), diese Heimatdatenbank verwahrt sämtliche Benutzerdaten der an ihr ursprünglich angemeldeten Teilnehmer. Wenn ein Teilnehmer einer anderen Heimat-MSC in das Zuständigkeitsgebiet einer MSC wechselt, dann kopiert sich diese die Benutzerdaten in sein *Visitor Location Register* (VLR), seine Besucherdatenbank. Außerdem enthält eine MSC eine weitere Datenbank, das *Equipment Identity Register* (EIR), in welcher die Teilnehmer- und Gerätekennummern (*International Equipment Identity*, IMEI) abgelegt sind. Damit ist es beispielsweise möglich, gesperrte oder gestohlene Handys zu identifizieren. Darüber hinaus gehört zu einer MSC ein *Authentication Center* (AuC), womit die Sicherheit eines Kommunikationsvorganges gewährleistet wird. Durch die gespeicherten Verschlüsselungsverfahren und Teilnehmeridentitäten wird die Vertraulichkeit einer Verbindung gewahrt.

Den beiden ersten Untersystemen ist das *Operation Subsystem* (OSS), das Betreibersubsystem übergeordnet. Dieses ist vor allem für den Betreiber des GSM Systems von Bedeutung. Es dient zur Teilnehmerverwaltung und Gebührenerfassung. Zur Sicherstellung des Betriebes und für die strategische Langzeitplanung existiert ein *Operations & Management Center* (OMC), welches diese Aufgaben übernimmt. [1. S. 355 ff]

Da bereits in früherer Zeit für GSM-Netze Möglichkeiten zur Datenratenerhöhung eingeführt wurden, sind heutzutage flächendeckend Dienste, wie GPRS oder EDGE verfügbar. Die zugehörigen Einrichtungen sind im Vermittlungssystem und im Betreibersubsystem angesiedelt. Da sie für die Sendeeigenschaften nicht von Bedeutung sind, soll an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen werden und auf die entsprechende Literatur [1], [2] verwiesen sein.

2.3 UMTS

Das UMTS-Netz ist ebenfalls ein zelluläres Netz. Es operiert im Frequenzbereich zwischen 1,92 und 1,98 GHz für den Uplink und für den Downlink ist der Bereich von 2,11 bis 2,17 GHz vorgesehen. In diesen Bereichen werden jeweils zwölf

5 MHz breite Bänder gebildet, welche als Kanal anzusehen sind. Der Unterschied zur bekannten Zellstruktur ist die Tatsache, dass bei UMTS mehrere Zellebenen existieren, welche hierarchisch angeordnet sind. Davon sind nur die Untersten für den Teilnehmer relevant, die höchsten, größten Zellen sind zum Netzbetrieb nötig. Ziel von UMTS ist es, dem Teilnehmer möglichst hohe Datenraten zur Verfügung zu stellen. Dazu wurde als Zugriffsverfahren Wideband-CDMA gewählt. Damit möglichst Vielen eine hohe Datenrate zur Verfügung steht, ist es erforderlich die Zellgröße variabel zu gestalten. Weil die maximale Datenrate von der Sendeleistung und damit von der Entfernung des Teilnehmers zur Sendestation abhängig ist und dieses WCDMA-Merkmal nicht zu enormen Sendeleistungen führen soll, passen sich die Zellen dem Verkehrsaufkommen an. Bei diesem, „Zellatmung“ genannten, Prozess wird die Zellgröße durch Steuerung der Sendeleistung vergrößert oder verkleinert.

2.3.1 UMTS Architektur

Die Architektur von UMTS ist prinzipiell kompatibel zu GSM. Dementsprechend sind die Systeme dem GSM Aufbau wieder sehr ähnlich.

Das Handy des Teilnehmers, welches Funkgerät und Identifikationsmodul beinhaltet, wird als *Users Equipment* bezeichnet.

Dieser Ebene übergeordnet ist das *Radio Access Network*. Hiermit wird das Funknetz mit all seinen Vermittlungs- und Mobilitätsfunktionen, welches durch vorhandene GSM-Basisstationen, oder durch das für UMTS spezifizierte Funknetz *UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)* gebildet wird, gemeint.

Das *Core Network* bildet den Kern des UMTS-Netzes. Darin werden die Transportnetze, welche über IWUs (Interworking Units) verbunden sind sowie die Betreiberfunktionen, wie Abrechnungs- und Zugangsverfahren, gesteuert. [1, S. 369 f]

Da UMTS zur Zeit noch nicht in starkem Gebrauch ist und sich vieler Orts noch in der Aufbauphase befindet, soll auf eine weitere Funktionserläuterung verzichtet werden, welche in einschlägiger Literatur [1], [2] zu finden ist.

2.4 Mobilfunkbasisstationen

Allen angesprochenen Netztypen ist es gemeinsam, dass sie eine Vielzahl von fest installierten Sende-/Empfangsanlagen (Base Transceiver Stations) benötigen. Wegen der grundsätzlichen Ähnlichkeit der Topologie und Verfahren ist der Aufbau solcher Basisstationen oft identisch. Einige Netzbetreiber nutzen sogar die Modulbauweise um einen standardisierten Bautyp zu verbreiten. Hierbei sei auch erwähnt, dass viele Standorte von Basisstationen von mehreren Netzbetreibern genutzt werden und somit oft die gleiche Technik zum Einsatz kommt.

Eine Mobilfunkbasisstation besteht nicht nur aus den deutlich sichtbaren Antennen, auf welche im nächsten Abschnitt näher eingegangen wird, sondern auch aus weiteren Komponenten. Diese sind zumeist unterhalb des Antennenmastes in einem Schrank oder Container untergebracht, seltener auch innerhalb von Gebäuden verbaut.

Ist eine Mobilfunkbasisstation über das Festnetz an das übergeordnete Netz angeschlossen, so wird dies mindestens über einen ISDN-Primärmultiplexanschluss realisiert, andernfalls kommen Richtfunkstrecken, welche weitere Antennen am Mast erfordern, zum Einsatz.

Die Technik im Hintergrund wird im Wesentlichen von den Sendeendstufen, Diplexern und dem *Base Station Equipment*, dem Steuerprozessor gebildet. Je nach Umfang der Basisstation kann sich die Ausstattung jedoch geringfügig anders gestalten. Pro Kanal regelt ein Verstärker die Leistung, um jeweils die optimale Übertragungsqualität zu erreichen. Lediglich der erste Kanal, der Broadcastchannel, wird bei konstanter Leistung gehalten. Die Diplexer, bestehend aus zwei symmetrischen Bandpassfiltern, haben die Aufgabe die Sende- und Empfangsdaten der Antennen zu teilen und zuzuordnen. Geleitet wird die Anlage vom Steuerrechner, der darüber hinaus die Anpassung der Datenraten, Generierung der Synchronisationsdaten und den Kontakt zur MSC übernimmt. [3 S. 18 f]

Zum Ende des kurzen Techniküberblicks sei erwähnt, dass die Gerätestationen an sich weitgehend vollkommen abgeschirmt aufgebaut sind und somit nicht, oder

nur im geringsten Maße, zum Strahlungsaufkommen einer Mobilfunksendeanlage beitragen.

2.5 Mobilfunkantennen

Obwohl die dahinter stehende Technik zumeist dieselbe ist, muss die Antenne doch an jedem Einsatzort und für jeden Zweck unterschiedliche Anforderungen erfüllen. Als Weltmarktführer für unterschiedlichste Antennen für jeden Einsatzbereich hat sich die Rosenheimer Firma Kathrein etabliert. Heutzutage werden an Mobilfunkbasisstationen fast ausschließlich Kathrein-Antennen installiert. Sie bilden den Quasi-Standard für Mobilfunkantennen.

2.5.1 Aufbau

Mobilfunkantennen sind sämtlichen Wetterbedingungen ausgesetzt. Sie müssen den unterschiedlichsten Temperaturen, Wind-, UV- und Eisbelastungen Stand halten und trotzdem ständig problemlos funktionieren. Damit die Umwelteinflüsse die Antenne selbst nicht stören, ist diese mit einer Hülle aus zumeist Glasfiber versehen. Diese Hülle allein bildet den Anblick, der sich Betrachtern bietet. Das gewählte Material ist einerseits widerstandsfähig gegenüber den erwähnten Einflüssen und es stört die elektromagnetische Strahlung minimal, was für die Antennen sehr wichtig ist. Dazu kommen auch positive Verarbeitungseigenschaften, was zu dem weit verbreiteten Einsatz führt. [4]

Unter der Hülle befindet sich die eigentliche Antennenkonstruktion. In den Standardantennen befinden sich Dipolfelder aus Aluminium. Pro Zeile befinden sich drei bis vier senkrechte Dipole. Je nach Typ wiederholt sich diese Anordnung sechs bis zehn Mal untereinander. Für eine effiziente und präzise Produktion werden die Felder oft „aus dem Vollen“ gestanzt. Um ausreichende Stabilität zu erreichen, wird die Antenne auf einen Träger, welcher die Antenneneigenschaften nicht beeinflusst, genietet.

2.5.2 Richtcharakteristik

Damit nicht für jede Funkzelle eine zentrale, rundstrahlende Antennenanlage installiert werden muss, was sich einerseits schwierig mit der Ausleuchtung einer

Zelle gestalten kann und andererseits ineffizient in der Ausnutzung der Standorte sein würde, werden die Zellen häufig von den jeweiligen Grenzpunkten benachbarter Zellen bestrahlt. Dies findet insbesondere bei großen, ländlichen Zellen Anwendung. Damit gestaltet sich die geforderte Abstrahlcharakteristik einer Antennenanlage sektorförmig. In der Regel werden pro Standort drei Sektoren versorgt (siehe Abbildung 2-3). Da die Sender ein großes Gebiet versorgen müssen, ist es nicht sinnvoll die Leistung in alle Richtungen gleich abzustrahlen. Um am Horizont des Versorgungsgebietes noch beste Empfangsbedingungen zu erhalten, wird die Leistung in vertikaler Richtung in einem relativ flachen Winkel abgestrahlt. Wegen der Nähe des Empfängers ist eine steile Abstrahlung nach unten nicht nötig und von den erhöhten Antennenstandorten eine Abstrahlung nach oben ohnehin nicht sinnvoll [7, S. 8]. Ein weiterer Vorteil der sektorisierten Abstrahlung ist eine Erhöhung des Signalstörabstandes [2, S 50]. Diese Anforderungen an die Abstrahlung beeinflussen die Richtcharakteristik einer Antenne. In der Praxis wird diese Charakteristik durch Richtdiagramme wiedergegeben. Diese Diagramme, auch *Pattern* genannt, zeigen jeweils einen waagerechten und horizontalen Schnitt durch den bestrahlten Raum.

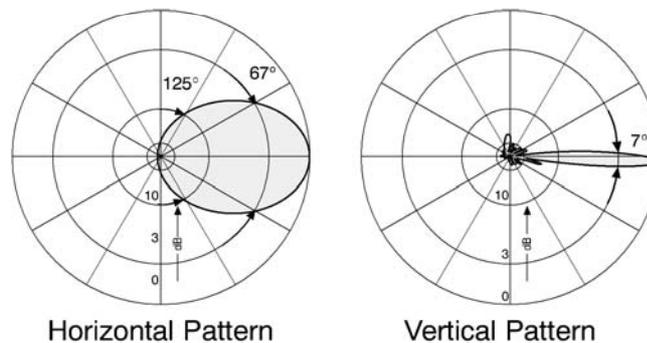


Abb. 2-2: Pattern einer realen Mobilfunkantenne[4].
Zu beachten ist die logarithmische Einteilung der Skala.

Wie erkennbar ist, wird als bestrahlter Raum die Kugel genutzt, dies folgt vom Bezug auf den fiktiven Kugelstrahler (isotroper Strahler) her. Deswegen erfolgt die zur Berechnung wichtigen Angabe der *relativen Richtcharakteristik C* auch mit Kugelkoordinaten.

Die relative Richtcharakteristik stellt die räumliche Abhängigkeit der elektrischen Feldstärke dar. Sie gibt die Amplitude der Feldstärke in einer Richtung, bezogen auf einen Maximalwert, bei konstantem Abstand an. Es gilt: [6, S. 156]

$$\left| \vec{C}(\vartheta, \varphi) \right| = C(\vartheta, \varphi) = \frac{\left| \vec{E}(\vartheta, \varphi, r) \right|}{E_{\max}} \Bigg|_{r=\text{const}} \leq 1 \quad (1)$$

Diese Gleichung ist für das Fernfeld der Antenne gültig, in welchem magnetische und elektrische Feldkomponenten senkrecht zueinander stehen und über den Feldwellenwiderstand des freien Raumes miteinander verknüpft sind.

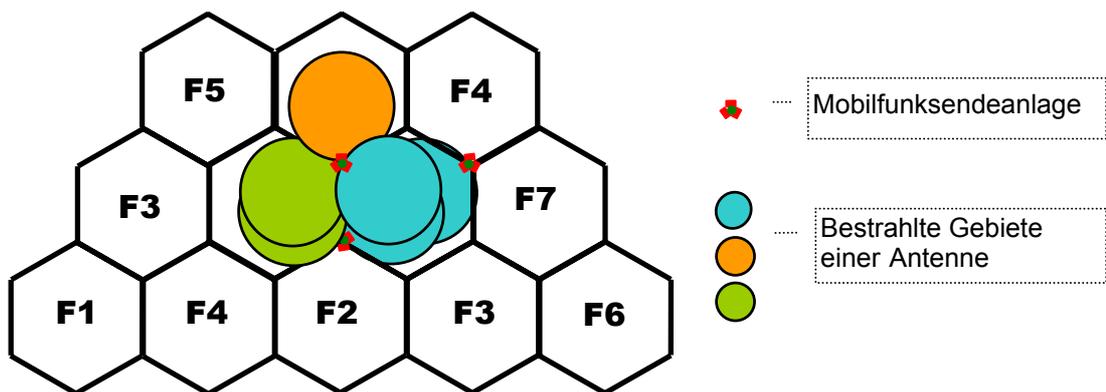


Abb. 2-3: Schematische Darstellung der sektorisierten Abstrahlung von Mobilfunkantennen

2.5.3 Antennenausrichtung

Für die Strahlungsrichtung auf der Erde und in den Funkzellen sind weitere Winkel von Bedeutung.

Äußerst wichtig für die Einrichtung der Zellen und die sektorisierte Ausrichtung ist der Azimutwinkel. Dieser wird auch als Richtungswinkel bezeichnet und gibt an, um wieviel Grad eine Antenne bzw. deren Hauptkeule aus der Nord-Süd-Richtung gedreht ist [5, S. 154]. Bei der heutzutage üblichen Gestaltung der Zellen sind hierfür die Werte 0° , 120° und 240° typisch, aber nicht bindend.

Die Hauptstrahlen von Mobilfunkantennen sind oftmals nach unten gerichtet. Diese Neigung der Hauptkeule von der Horizontalen wird als *Downtilt* bezeichnet.

Sie kann elektrisch, durch die Bauweise der Antenne oder durch Befestigungsmaßnahmen, also mechanisch, erreicht werden. Ist die Neigung von der Horizontalen nach unten gerichtet, so ergibt sich für den Downtilt ein positiver Winkel, bei Richtung nach oben dementsprechend ein negativer Winkel. [3, S. 23]

2.5.4 Antennengewinn

Als letzter wichtiger Faktor für Berechnungen an Antennen ist der *Antennengewinn* zu nennen. Der Antennengewinn **G** gibt das Verhältnis der Leistungsflussdichte der Hauptkeule einer Antenne gegenüber der Leistungsflussdichte eines Bezugsstrahlers in gleicher Entfernung und mit gleicher Eingangsleistung an. Als Bezugsstrahler werden gewöhnlich der idealisierte Kugelstrahler (isotroper Strahler) oder der Halbwellendipol verwendet. Die Angabe des Antennengewinns erfolgt in Dezibel (dB), wobei die Bezugsstrahler durch einen angehängten Buchstaben gekennzeichnet werden.

dB_i - Antennengewinn, bezogen auf den isotropen Strahler

dB_d - Antennengewinn, bezogen auf den Halbwellendipol

Da der isotrope Strahler theoretisch seine Leistung homogen im Raum verteilt, muss bei realen Antennen der auf den isotropen Strahler bezogene Antennengewinn immer positiv und größer eins sein. [5, S. 29]

2.5.5 Vor-Rück-Verhältnis

Darüber hinaus wird zum charakterisieren von Antennen noch das sogenannte *Vor-Rück-Verhältnis* (VRV), oder Front-to-Back-Ratio verwendet, welches das Verhältnis der Hauptkeule in der Hauptsenderichtung zu der in der Gegenrichtung liegenden, rückwärtigen Keule angibt. Es gilt: [5, S.30], [6, S. 234]

$$VRV = 20 \cdot \lg \frac{E_{\text{Hauptkeule}}}{E_{\text{Rückwärtige Keule}}} \text{ dB} \quad \text{bzw.} \quad VRV = 10 \cdot \lg \frac{S_{\text{Hauptkeule}}}{S_{\text{Rückwärtige Keule}}} \text{ dB} \quad (2, 3)$$

Damit die Richtwirkung der Antennen unterstützt wird, werden in der Praxis in der Regel große Werte für das Vor-Rück-Verhältnis angestrebt [5, S. 30].

Da das Verhältnis auch aus den Pattern heraus erkennbar ist, wird oftmals auf die Angabe verzichtet, wenn ein detailliertes Richtstrahldiagramm vorliegt.

2.5.6 Polarisation

Zu vollständigen Antennenkenndaten gehört außerdem die Angabe der Polarisationsrichtung. Damit wird die Ebene beschrieben, in welcher die elektromagnetischen Wellen, gesehen von der Ausbreitungsrichtung, verlaufen.

Ältere Modelle von Mobilfunkantennen verwenden vertikale Polarisation, wobei die elektromagnetischen Wellen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung schwingen. Bei neueren Modellen wird häufig die duale diagonale Polarisation eingesetzt. Dabei liegen die Ebenen um + und – 45 Grad von der Ausbreitungsrichtung verdreht. Die Polarisation der Antennen ist für diesen Fall nur für Uplink, also den Empfang der Basisstation von Bedeutung und findet in dieser Arbeit, welche sich mit Sendevorgängen beschäftigt, keine nennenswerte Beachtung.

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass sich die Polarisation einer Welle durch Reflexionen, Beuge- und Streueffekte ändern kann. Welche Polarisation der Antennen zum Einsatz kommt, hängt vom Areal ab und wird vom Netzplaner entschieden.

3 BEEINFLUSSUNG DER UMWELT DURCH ELEKTROMAGNETISCHE STRAHLUNG

In weiten Teilen der Bevölkerung werden gesundheitliche Beeinträchtigungen durch elektrische und magnetische Felder befürchtet. Diskutiert werden vor allem Berichte, in denen ein Zusammenhang zwischen Feldwirkungen und dem Auftreten von Kopfschmerzen, Erschöpfungszuständen, Allergien, Erbschäden oder Krebs hergestellt wird. Jedoch müssen die Wirkungen dieser vielfältigen Felder, oftmals als „Elektrosmog“ bezeichnet, differenziert betrachtet und kritisch hinterfragt werden.

Da der Mensch kein Wahrnehmungsorgan für elektrische oder magnetische Felder besitzt, kann er nur indirekt Wirkungen feststellen und diese deshalb nicht unmittelbar auf die Ursache zurückführen.

Unumstritten ist die Tatsache, dass künstlich erzeugte elektromagnetische Strahlung auf die Umwelt Wirkungen hinterlässt. Dies ist oftmals gewünscht und notwendig, anders wären technische Geräte, wie zum Beispiel die Mikrowellen - Haushaltsgeräte nicht vorstellbar.

3.1 Einteilung elektromagnetischer Strahlung

Allerdings muss die Art der Strahlung unterschieden werden. Besondere Betrachtung bei der Einteilung der Strahlung trifft dabei die Frequenz. Ein häufig zitierter Satz dazu ist: „Welche Wirkung elektromagnetische Felder auf Lebewesen ausüben, hängt in erster Linie von ihrer Frequenz ab“. Somit unterteilt sich das Spektrum der Strahlung in Gleichfelder sowie niederfrequente und hochfrequente Wechselfelder. Die Grenze zwischen letzteren ist bei der Frequenz von 30 kHz angesiedelt.

Im niederfrequenten Bereich findet außerdem noch die strenge Unterscheidung in elektrische und magnetische Felder statt. Grund dafür ist die Tatsache, dass sich aus niederfrequenten elektrischen Feldern die elektromagnetischen Wellen erst lösen, wenn die Sendeanlage eine Ausdehnung in Größenordnung der Wellenlänge hat.

Im hochfrequenten Feld ab 30 kHz treten die Wirkungen von elektrischem und magnetischem Feld stets zusammen auf, es wird deshalb von elektromagnetischen Feldern gesprochen.

Ab der Frequenz von 300 GHz ist die Bezeichnung für die entstehenden Felder optische Strahlung, da sich in diesem Bereich auch das sichtbare Licht einordnen lässt.

Daneben ist die Intensität der Strahlung ein wichtiger Faktor. Es gibt neben der energiearmen auch die hochenergetische Strahlung, welche in der Lage ist Atome zu verändern bzw. Elektronen aus den Atomhüllen zu lösen. Zu diesen - auch ionisierende Strahlung genannten - Strahlungen zählt zum Beispiel die Röntgenstrahlung. Allerdings existiert ionisierende Strahlung erst ab einer Frequenz von 3×10^{15} Hz (3000 Terahertz, bzw. 3 PHz).

Für alle Strahlungsarten kommt außerdem die Beurteilung der Strahlungsleistung in Betracht. Dazu wird unterschieden in große Strahlungsleistung und Strahlung von Quellen mit niedriger Leistung. Des Weiteren sollte die jeweilige Modulation (Frequenzmodulation, Amplitudenmodulation, Pulsung) der elektromagnetischen Wellen nicht unbeachtet bleiben. Durch diese Vielfalt an Strahlungsvarianten lassen sich den Feldern keine pauschalen Effekte zuordnen.

Für Mobilfunkanlagen, die in dieser Arbeit betrachtet werden sollen, kommen Frequenzen von über 800 MHz bis etwa 2200 MHz in Betracht. Es handelt sich um nicht-ionisierende elektromagnetische Strahlung. Die Basisstationen betreiben einen Sendekanal mit typisch 20 W Leistung. Da aber mehrere Kanäle pro Basisstation vorhanden sind, müssen die Einzelleistungen summiert werden. Es gilt aber zu beachten, dass es sich hierbei um die Spitzenleistung handelt, welche nur in Ausnahmefällen genutzt wird. Im Alltagsbetrieb ist die Leistung geringer.

3.2 Bekannte Wirkungen

Wenn von Wirkungen auf die Umwelt gesprochen wird, so darf heutzutage nicht vergessen werden, was alles zur Umwelt zählt. In dem aktuellen hochtechnisierten Zeitalter ist kaum jemand ohne moderne technische Einrichtungen unterwegs,

oder sind viele Tätigkeiten nicht ohne technische Unterstützung denkbar. Allerdings sind diese nützlichen Helfer stark von elektromagnetischen Feldern beeinflussbar. An ihnen lassen sich die Wirkungen auch einfach nachweisen, indem das Gerät seinen Dienst versagt. Da dies nicht gewünscht ist, müssen diese Geräte geschützt werden. Das Kapitel EMV-Schutzmaßnahmen ist jedoch sehr umfangreich und vielseitig, so dass es in dieser Arbeit nicht weiter ausgebaut wird. Es darf aber auf keinen Fall vernachlässigt werden.

Deshalb ist an dieser Stelle unbedingt zu erwähnen, dass es auch Menschen gibt, die stark abhängig von technischen medizinischen Geräten sind, wie zum Beispiel die Träger von Herzschrittmachern. Für die Personen und die Geräte selbst, gelten strenge Vorschriften und Normen, um sie vor Fehlfunktionen, die in Ausnahmefällen auftreten können, zu bewahren.

Für Lebewesen, wie Menschen, ist es nicht ohne weiteres möglich, sich durch Schirmungsmaßnahmen vor elektromagnetischer Strahlung zu schützen. Auf sie trifft die Strahlung zumeist ungehindert.

Hochfrequente elektromagnetische Felder, zu denen die Mobilfunkfelder zählen, dringen allerdings kaum in den Körper ein. Die Ursache dafür liegt neben der ausgeprägten Absorption in den oberen Hautschichten, auch in dem sogenannten Skineffekt. Der elektrisch gut leitende Körper drängt die Feldlinien eines Hochfrequenzfeldes zur Körperoberfläche. Vergleichbar ist dieser Effekt mit einem Faradayschen Käfig. Somit dringen die Felder nur wenige Zentimeter in Körper ein.

Hochfrequente Felder sind nicht in der Lage das Ruhepotenzial von Zellen zu beeinflussen, deswegen ist die Erregung von Nerven- und Muskelzellen nicht möglich. Aufgrund des oben angeführten Effektes, von tiefer liegenden Zellen ohnehin nicht.

Die bekannteste Wirkung von elektromagnetischer Strahlung auf Lebewesen ist die Wärmewirkung. Diese tritt auf, wenn sich Moleküle mit Dipolcharakter, insbesondere Wassermoleküle, in einem Hochfrequenzfeld ausrichten. Die bei der Ausrichtung entstehenden Reibungsverluste führen zur Wärmebildung. Bekannt

ist dieses Prinzip von der häuslichen Mikrowelle. Darüber hinaus tragen in geringem Ausmaß auch die minimalen induzierten Ströme im Körper zu diesem Effekt bei [18, S. 227].

Beim Menschen wird die entstehende Wärme sofort durch den Blutkreislauf und den menschlichen Temperatenausgleich im gesamten Körper verteilt. Hierbei haben Versuche ergeben, dass die Körpertemperatur unter dem Einfluss von Mobilfunkfeldern sich lediglich um Bruchteile von Grad Celsius erhöht, so dass natürliche Schwankungen nicht ausgeschlossen werden konnten.

Da die Wirkung der Felder an der Oberfläche, in gut durchbluteten Organen, also beim Menschen in der Haut auftritt, können schädliche Wirkungen nahezu ausgeschlossen werden. Im Extremfall wären weniger durchblutete Organe, wie Augenhornhaut oder –linse, von minimalen Temperaturerhöhungen betroffen.

Trotz vieler Unbedenklichkeitserklärungen wurde auch hier ein Maß eingeführt, um die Wirkungen auf Menschen zu kontrollieren. Heutzutage wird die spezifische Absorptionsrate (SAR) zum Beschreiben der Einwirkung von Feldern genutzt. Dieser Wert wird in Watt je Kilogramm angegeben. In Tests mit Tieren wurde festgestellt, dass sich bei längerer Exposition oberhalb eines SAR-Wertes von 4 W/Kg (gemittelt über den ganzen Körper) die Körpertemperatur um weniger als 1°C erhöht hat. Dabei wurde die Übertragung der Ergebnisse auf den Menschen genau betrachtet. Zum Vergleich, bei körperlicher Aktivität kann ein Mensch selbst 3 bis 5 Watt je Kilogramm Wärme produzieren.

3.3 Diskutierte Effekte

Während die thermische Wirkung wissenschaftlich bewiesen ist, gibt es immer wieder Berichte und Vermutungen, wonach andere Effekte Lebewesen beeinflussen würden. Bevor diese Berichte allerdings auf Mensch und Mobilfunkfelder bezogen werden sollten, ist es wichtig die Umstände der Untersuchung zu kennen.

Wurden für die Untersuchung realistische Signale verwendet? Entsprachen sie in Intensität, Frequenz und Modulation den Feldern, die in der Praxis auftreten? Sind sinnvolle Expositionsdauern und Abstände eingehalten worden? Bei welchem Organismus hat man die Wirkung festgestellt?

Nicht alle bei Kleintieren festgestellten Effekte sind ohne weiteres auf den Menschen zu übertragen. Zum einen spielt da wiederum der Skineffekt eine Rolle, denn wenn das Gehirn einer Ratte vollständig von Strahlung durchsetzt wurde, so muss die gleiche Strahlung nicht unbedingt überhaupt in das Gehirn eines Menschen eindringen. Zum anderen spielt die Resonanzfrequenz eines Lebewesens eine Rolle. Damit können unterschiedlich große Lebewesen bei gleicher Frequenz unterschiedliche Strahlungsmengen absorbieren.

Es sollten jedoch alle vermuteten und diskutierten Effekte genau betrachtet und wissenschaftlich untersucht werden. Nicht zuletzt, um sie zu widerlegen und um Zweiflern die Angst zu nehmen.

Weil die Effekte neben der bekannten thermischen Wirkung auftreten sollen, werden sie häufig, wenn auch fachlich nicht ganz korrekt, als „athermische Effekte“ bezeichnet.

Berichtet wurde unter anderem über:

- Veränderungen von Hirnströmen
- Veränderungen der kognitiven Leistungen
- Veränderungen von Schlafparametern
- Veränderter Ionentransport durch Membranen
- Veränderungen der Hormonausschüttung
- Das Auftreten von Befindlichkeitsstörungen

Hirnströme

Die Untersuchungen von Hirnstromaktivitäten (EEG) unter dem Einfluss eines der Handynutzung entsprechenden Feldes liefern widersprüchliche Ergebnisse. Während Studien zum Ruhe-EEG eher gegen eine Beeinflussung sprechen, konnten bei komplexen Aufgaben zur Informationsverarbeitung durchaus messbare Veränderungen festgestellt werden. Allerdings ist die gesundheitliche Relevanz solch geringer Änderungen äußerst unklar und unwahrscheinlich.

Kognitive Leistungen

Bei einigen Studien zu Gedächtnisfunktion, Lern- und Reaktionsfähigkeit unter Feldern, der Handynutzung ähnlich, konnten sogar Verkürzungen der Reaktionszeit um mehrere Prozent festgestellt werden. Diese Veränderungen, die mit der möglichen lokalen Erwärmung des Gehirns begründet wurde, waren allerdings sehr schwach ausgeprägt und somit in den natürlichen biologischen Schwankungsbereich einzuordnen.

Schlafparameter

Eine Studie, welche allerdings von den selben Untersuchenden später nicht bestätigt wurde, ergab, dass sich Einschlafzeit und REM-Dauer (Rapid Eye Movement – Schlafphase mit schneller Bewegung der Augen) unter dem Einfluss von Feldern, die mit Handynutzung vergleichbar sind, verringern. Eine weitere Studie beobachtet ebenfalls eine eher schlaffördernde Wirkung.

Das Bild, wonach es keine konkreten Belege für Einflüsse gibt, festigt eine Studie einer Kieler Forschergruppe, welche keine Veränderung von Schlafparametern feststellte, die auf „Handyfelder“ zurückzuführen sind.

Hormonausschüttung

Wenn sich Studien mit der Hormonsekretion beschäftigen, so steht häufig der Haushalt von Melatonin unter größter Beachtung. Bei Störung oder Blockierung der Ausschüttung dieses wichtigen Hormons, könnten - nach Hypothese - starke gesundheitliche Schäden auftreten. Allerdings konnte experimentell noch nicht bestätigt werden, dass sich die Ausschüttung von Melatonin, oder eines anderen Hormons, unter dem Einfluss eines der Handynutzung entsprechenden Feldes, ändert.

Ionentransport durch Membranen

Diese Berichte sind Beispiel, wie Wirkungen mit falschen Ursachen verbunden wurden. Die Beobachtungen zum Calcium-Efflux aus dem Hirngewebe von Küken sind 20 Jahre alt und unter Bedingungen entstanden, die für den Mobilfunk nicht von Bedeutung sind (Amplitudenmodulation mit 16 Hz). Mit neueren Untersuchungen konnten die damaligen Ergebnisse nicht bestätigt werden.

Auftreten von Befindlichkeitsstörungen

Eine vielzitierte „Kärntner Studie“ zu Störungen des Wohlbefindens im Umfeld von Mobilfunkanlagen steht wegen methodischer Fehler in der Kritik. Allerdings liefert sie schon Schlüsse in der Beziehung, dass allein die Angst vor Mobilfunkanlagen krank machen kann. Die registrierten Beschwerden sind zumeist psychischer Natur und unabhängig der Feldstärken um Sendeanlagen, sondern beruhen viel mehr auf der Angst vor Mobilfunk.

Genauere Informationen zu den Studien sowie weitere Berichte sind in der Quelle [9] ab Seite 16 sowie [8] nachzulesen.

Zum Ende dieser Diskussion soll erwähnt werden, dass die Menschen seit knapp 100 Jahren flächendeckend mit Rundfunk versorgt werden. Diese Sender strahlen ein vielfach intensiveres Feld aus, wobei die Frequenz aber variiert. Bis heute sind keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen bekannt, die ausschließlich darauf zurückzuführen sind.

Außerdem stellt sich bei jedem Kläger gegen Mobilfunkanlagen die Frage, ob für ihn wirklich gesundheitliche Belange vorrangig sind, oder ob nicht vielmehr wirtschaftliche und optische Gründe im Vordergrund stehen. So sind oft Befürchtungen über einen eventuellen Wertverlust der Immobilie durch eine nahe Mobilfunksendeanlage Anlass zu Klagen.

4 GESETZLICHE GRUNDLAGEN UND RICHTLINIEN

Zum Betrieb von Mobilfunkanlagen sind künstlich erzeugte elektromagnetische Felder nötig. Diese müssen eine ausreichende Stärke besitzen, um den mobilen Empfangsgeräten die Detektion und somit die Kommunikation zu ermöglichen.

Obwohl bis jetzt keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen bei Menschen zweifelsfrei nachgewiesen werden konnten, unterliegen der Aufbau und der Betrieb von Mobilfunkanlagen strengen Richtlinien und Kontrollen.

Die gesetzlichen Grundlagen wurden als Vorsichtsmaßnahme gegen eventuelle Spätschäden geschaffen, die noch nicht bekannt sind.

Darüber hinaus ist es unerlässlich den Betrieb der Mobilfunknetze zu regulieren, um deren einwandfreien Betrieb zu gewährleisten und das parallele Existieren von anderen technischen Einrichtungen zu garantieren.

In Deutschland ist die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, kurz RegTP, die zuständige Institution für die Zulassung und Überwachung von Mobilfunkanlagen.

Als Grundlage für den Betrieb einer Funksendeanlage wird für diese eine Standortbescheinigung benötigt [10, S. 1967]. Die RegTP erteilt diese wie in der 26. BImSchV angegeben. Darüber hinaus gelten eine Vielzahl von anderen Gesetzen und Normen auf denen dann in den allgemeingültigen Richtlinien Bezug genommen wird.

4.1 26. BImSchV

Die Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes wurde am 20. Dezember 1996 verkündet und trat am 1. Januar 1997 in Kraft. Sie gilt für die Errichtung und den Betrieb von Hoch- und Niederfrequenzanlagen und enthält Anforderungen zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch elektromagnetische Felder und richtet sich vornehmlich an Betreiber und an die zuständigen Behörden. In der Verordnung werden die Wirkungen

elektromagnetischer Strahlung und Felder auf elektrisch oder elektronisch betriebene Implantate nicht berücksichtigt. Weiterhin sind die Arbeiter an den Anlagen von der 26. BImSchV nicht betroffen, für Sie gelten die Regeln des Arbeitsschutzes und der Arbeitssicherheit.

Die 26. BImSchV legt Grenzwerte fest und schreibt für die Ermittlung von Feldstärke- und Flussdichtewerten die Mess- und Berechnungsverfahren der Norm DIN VDE 0848 Teil 1 vor [11, S. 29].

Die folgenden Tabellen zeigen die festgelegten Expositionsgrenzwerte der Feldstärken und Flussdichten für Hochfrequenzanlagen. Diese Grenzwerte basieren auf den Empfehlungen der INIRC und der IRPA.

Tabelle 4-1: Grenzwerte für Hochfrequenzanlagen [10, S. 1968]

Frequenz (MHz)	Effektivwert der Feldstärke (quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle)	
	elektrische Feldstärke (V/m)	magnetische Feldstärke (A/m)
10 – 400	27,5	0,073
400 – 2000	$1,375 \cdot \sqrt{f}$	$0,0037 \cdot \sqrt{f}$
2000 – 300000	61	0,16

Tabelle 4-2: Grenzwerte für Hochfrequenzanlagen [7, S. 7]

Frequenz (MHz)	Leistungsflussdichte (W/m ²)
10 – 400	2
400 – 2000	$0,005 \cdot f$
2000 – 300000	10

Tabelle 4-3: Grenzwerte für Mobilfunkanlagen [7, S. 6]

Netz / Frequenz	Entsprechende Grenzwerte für Mobilfunkanlagen		
	Leistungsfluss- dichte S (W/m ²)	elektrische Feldstärke E (V/m)	magnetische Feldstärke H (A/m)
D-Netz um 0,9 GHz	4,5	40,1	0,11
E-Netz um 1,8 GHz	9,2	57,6	0,157
UMTS um 2,1 GHz	10	61	0,16

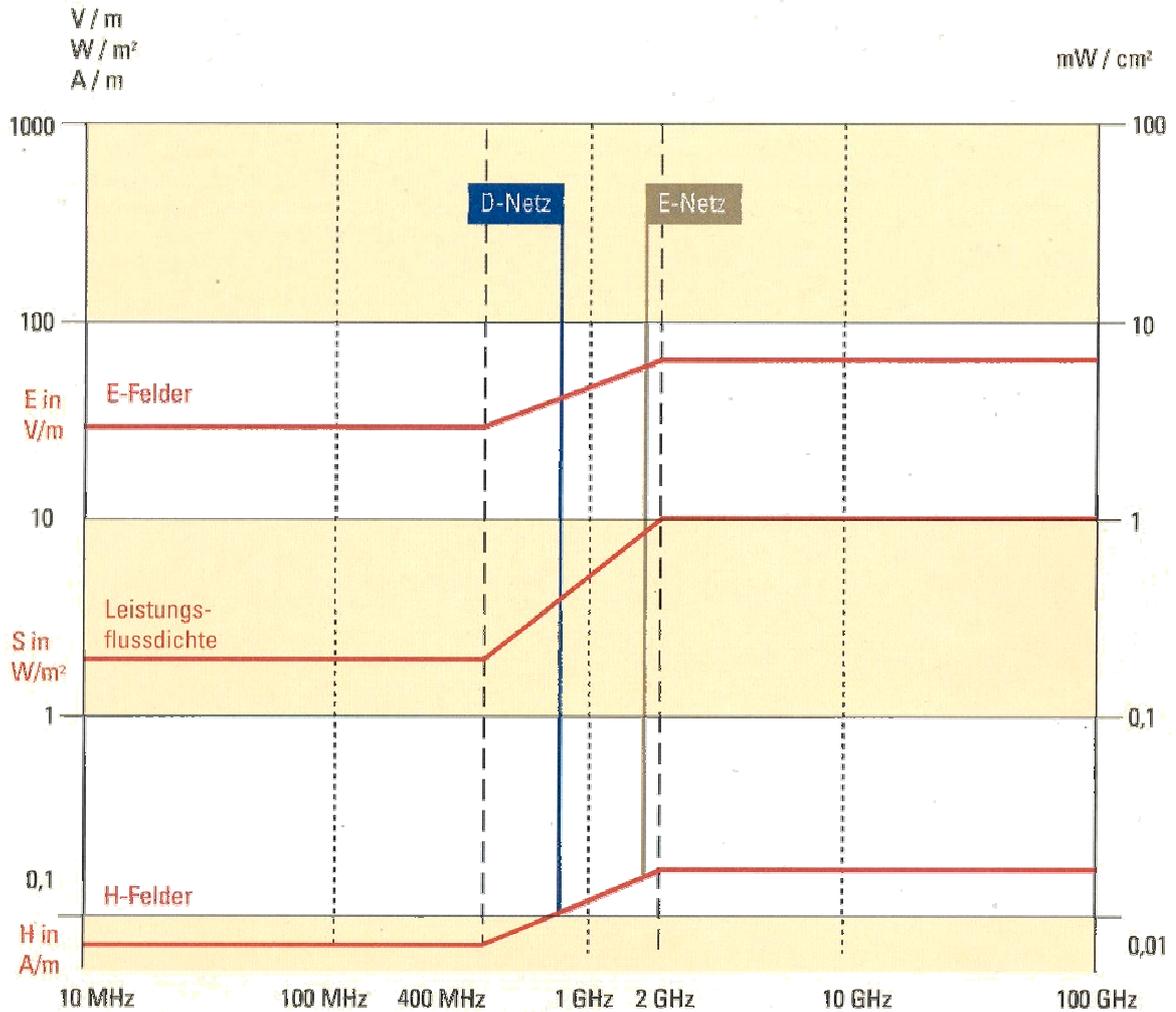


Abb. 4-1: Grafische Darstellung der Expositionsgrenzwerte für Feldgrößen nach der 26. BImSchV [7, S.7].

4.2 DIN VDE 0848

Diese Normenreihe beschäftigt sich mit elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern. Die Teile dieser Normenreihe definieren Mess- und Berechnungsverfahren, Anforderungen an Messgeräte, Grenzwerte für Material und Personen im täglichen und beruflichen Umgang mit elektromagnetischen Feldern.

Im Teil 1 der Normenreihe: „Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern“ sind grundlegende Definitionen, Mess- und Berechnungsverfahren festgehalten. Weiterhin ist der Teil 383 maßgebend, die „Grundnorm für die Berechnung und Messung der elektromagnetischen Feldstärke

und SAR in Bezug auf die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern von Mobilfunk-Basisstationen und stationären Teilnehmergeräten von schnurlosen Telekommunikationsanlagen (110 MHz bis 40 GHz).“ Darin sind genaue Verfahrensanleitungen für spezielle Messungen und deren Auswertung festgelegt.

Viele weitere Teile haben ähnlichen bis gleichen Inhalt beziehen sich aber jeweils auf andere Zielgruppen oder spezielle felderzeugende Geräte.

Die meisten der Normen beruhen auf europäischen und internationalen Normen und beinhalten weltweit verbreitete und anerkannte Verfahren bzw. Grenzwerte.

Sind die Normen in Gesetzen, wie der 26. BImSchV, als Richtlinien für Betrieb und Berechnung angegeben, so sind sie bindend und Missachtung kann zur Strafverfolgung führen.

4.3 Standortbescheinigung

Eine ortsfeste Funkanlage im Frequenzbereich von 9 kHz bis 3000 GHz mit einer äquivalenten isotropen Strahlungsleistung (EIRP) von 10 Watt und mehr darf nur betrieben werden, wenn für diesen Standort eine gültige Standortbescheinigung vorliegt. Da auch die Gesamtstrahlungsleistung eines Standortes dieser Grenze unterliegt, zählen Mobilfunkanlagen zu den betroffenen Funkanlagen. Das heißt: zum Betrieb jedes Mobilfunkanlagenstandortes ist eine von der RegTP ausgestellte Standortbescheinigung durch die Betreiber einzuholen, dies trifft nicht nur bei Neuerrichtung, sondern auch bei wesentlicher Änderung des Anlagenzustandes zu. Nach Erteilung dieser Bescheinigung ist die Betriebserlaubnis für eine Anlage gewährt, denn damit wird die Einhaltung der derzeit gültigen Personenschutzgrenzwerte außerhalb des angegebenen Sicherheitsabstandes bestätigt.

Damit eine Standortbescheinigung ausgestellt werden kann, müssen vom Betreiber der Anlage deren technische Daten, wie Leistung und Antennendiagramme, die geometrischen Abmessungen der Anlage und die geographische Lage des Standortes eingereicht werden. Mit diesen Unterlagen ermittelt die RegTP rechnerisch oder messtechnisch, unter angenommener höchster betrieblicher Anlagenausnutzung, die einzuhaltenden Sicherheitsabstände und gibt einen standortspezifischen Sicherheitsfaktor an. Bei

diesen Angaben wird die Vorbelastung durch andere ortsfeste Sendefunkanlagen am Standort mit einbezogen. [10, S. 6] Wichtig hierbei zu erwähnen ist, dass die angegebenen Sicherheitsabstände nur in horizontaler Richtung der Hauptstrahlrichtung gelten. Weiterhin wird ein Abstand angegeben, welcher vertikal um die Antenne einzuhalten ist. Ansonsten geht aus den Sicherheitsabständen keine Winkelabhängigkeit der Abstrahlung hervor.

Eine Standortbescheinigung selbst, liefert am Ende keine detaillierten technischen Angaben über die Anlage. Aus den Unterlagen sind keine Antennentypen, Kanalbelegungen oder Winkeleinstellungen sowie Leistungswerte ersichtlich.

4.4 Regeln zum Arbeitsschutz

Unabhängig von gegebenen Grenzwerten für die Normalbevölkerung existieren auch Regeln und Richtlinien für Personen, welche sich zu Reparatur- und Wartungsarbeiten unmittelbar an Anlagen aufhalten. Rechtsgrundlage hierzu ist die Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BGV B11).

Die Aufenthaltsbereiche wurden darin in verschiedene Kategorien eingeteilt, in welchen, je nach Aufenthaltsdauer, höhere Strahlungswerte zulässig sind, als nach den Grenzwerten der 26. BImSchV erlaubt sind. Die Kategorien wurden bezeichnet als Expositionsbereich 1 und 2, Bereich erhöhter Exposition und Gefahrenbereich.

Neben den in Arbeitsschutzvorschriften geregelten Immissionsgrenzwerten gelten auch die Vorschriften für die Sicherheit bei Arbeiten in großen Höhen. Da Antennenanlagen vornehmlich erhöht, wie auf Dächern oder Masten, installiert sind, herrscht dort besondere Absturzgefahr, die gebannt werden muss.

5 THEORIE DER FELDBERECHNUNG UND WINFIELD® BERECHNUNGSMODELL

5.1 Berechnungsvorschrift nach DIN VDE 0848

Nach den allgemein anerkannten Berechnungsmethoden schreibt die DIN VDE 0848 Teil 1 [12] folgende Gleichungen zur Berechnung der Leistungsflussdichte sowie der elektrischen und magnetischen Feldstärken bei Sendeantennen vor.

Für die Leistungsflussdichte einer Strahlungsquelle ist im Fernfeld der Hauptstrahlrichtung die nachfolgende Gleichung zu nutzen.

$$S = \frac{P \cdot G_i}{4\pi r^2} \quad (4)$$

Dabei ist:

- S Leistungsflussdichte, Einheit: W/m²
- P der Antenne zugeführte Leistung, Einheit: W
Diese wird der Strahlungsleistung gleich gesetzt.
- G_i Gewinnfaktor der Strahlungsquelle, bezogen auf den isotropen Strahler
- r Abstand von der Strahlungsquelle, Einheit: m

Die Berechnung der elektrischen Feldstärke erfolgt nach der Gleichung:

$$E_{eff} = \sqrt{\frac{Z_0}{4\pi}} \cdot \frac{\sqrt{P \cdot G_i}}{r} \cdot C \quad (5)$$

Dabei ist:

- E_{eff} Effektivwert der elektrischen Feldstärke, Einheit: V/m
- $Z_0 = 120 \pi \Omega = 377 \Omega$: Feldwellenwiderstand des freien Raumes
- P der Antenne zugeführte Leistung, Einheit: W
Diese wird der Strahlungsleistung gleich gesetzt.
- G_i Gewinnfaktor der Strahlungsquelle, bezogen auf den isotropen Strahler

- r Abstand von der Strahlungsquelle, Einheit: m
 C Faktor zur Berücksichtigung der Richtcharakteristik der Strahlungsquelle
($0 < C \leq 1$; für die Hauptstrahlrichtung ist $C = 1$)

Für die magnetische Feldstärke im Fernfeld einer Strahlungsquelle gilt die Gleichung:

$$H_{eff} = \frac{1}{Z_0} \cdot E_{eff} \quad (6)$$

Dabei ist:

- H_{eff} Effektivwert der magnetischen Feldstärke, Einheit: A/m
 E_{eff} Effektivwert der elektrischen Feldstärke, Einheit: V/m
 $Z_0 = 120 \pi \Omega = 377 \Omega$: Feldwellenwiderstand des freien Raumes

Der Antennengewinn wird in Dezibel (dB) angegeben. Um diesen in die Formel einzusetzen, muss er noch in einen Faktor umgerechnet werden:

$$Faktor = 10^{\left(\frac{G_i}{10}\right)} \quad (7)$$

- G_i Gewinnfaktor der Strahlungsquelle, bezogen auf den isotropen Strahler

5.2 Betrachtung Nahfeld – Fernfeld

Für die Berechnungen der Felder ist jedoch eine Einteilung der gegebenen Region in verschiedene Abstandsbereiche vorzunehmen. In diesen Regionen gelten jeweils etwas andere Näherungen für die Berechnung der Felder. Grundsätzlich wird in der Hochfrequenztechnik in Nahfeld und Fernfeldregion unterschieden, wobei das Nahfeld nochmals in reaktive Nahfeldregion und abstrahlende Nahfeldregion eingeteilt wird.

Zur Abschätzung der Nahfeld/Fernfeldgrenze ist die Gleichung

$$r = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (9)$$

geeignet (bei Nutzung der Näherung in Hauptstrahlrichtung).

Dabei ist:

D größte Aperturweite, entspricht der Antennenlänge, Einheit: m

λ Wellenlänge, Einheit: m

r Abstand von der Strahlungsquelle, Einheit: m

Bei Berechnungsabständen, die kleiner als oder gleich r sind, wird von der Nahfeldregion gesprochen, bei größeren Abständen kommen die Näherungen der Fernfeldregion zum Tragen.

Die Grenze von reaktivem Nahfeld zu abstrahlendem Nahfeld ist definiert bei $\lambda/4$. Regionen mit Abständen kleiner als $\lambda/4$ zählen zum reaktiven Nahfeld, größere Entfernungen, bis zur Fernfeldgrenze, werden als abstrahlendes Nahfeld bezeichnet. Bei sehr kurzen Antennen ist es somit auch möglich, dass die abstrahlende Nahfeldregion innerhalb der reaktiven Nahfeldregion liegt, weil $2D^2/\lambda$ kleiner ist als $\lambda/4$. [13, S. 56]

Bei Feldberechnung im Fernfeld wird die Antennengröße nicht berücksichtigt, sondern da ist die Antenne als punktförmige Quelle anzusehen. Dabei wird der fiktive isotrope Strahler als Bezug genommen. Das Fernfeld wird gekennzeichnet durch die Bedingungen, dass die Vektoren der elektrischen und der magnetischen Feldstärke senkrecht aufeinander und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung stehen. Sie haben gegenseitig keine Phasendifferenzen. Es gilt: [12, S. 6]

$$E = Z_0 \cdot H \quad (10)$$

$$S = E \cdot H \quad (11)$$

Das Nahfeld einer Strahlungsquelle ist dadurch gekennzeichnet, dass die im Fernfeld gültigen Bedingungen nicht in jedem Fall erfüllt sind. Grund hierfür ist die Tatsache, dass reale Strahler endliche Abmessungen haben und somit im nahen Bereich Phasenunterschiede zwischen der elektrischen und der magnetischen Feldstärke auftreten können. Damit ist es in der Regel nicht möglich, die Feldgrößen E, H und S einfach in einander umzurechnen, was aber nicht bedeutet, dass Fernfeldberechnungen im Nahfeld grundsätzlich falsch sind. Gewöhnlich führt das Fernfeldmodell im Nahbereich zu überhöhten Ergebnissen [13, S. 49].

Für Berechnungen des Nahfeldes, um welche es sich unter anderem bei leitungsgebundenen Feldern der elektrischen Energietechnik handelt, sei auf die Literatur [15, S. 697 f] verwiesen.

Bei dieser Arbeit liegt das Hauptaugenmerk auf dem Fernfeld um die Mobilfunksendeanlagen. Nach der oben angeführten Gleichung (9) ergeben sich für die präsenten Netze die in der folgenden Tabelle angegebenen Grenzen zwischen Nahfeld und Fernfeld. Deutlich sichtbar ist der quadratische Einfluss der Antennenlänge, wobei hier aber die Dimension eines einzelnen Dipols gemeint ist, von dem mehrere pro Antenne installiert sind (vergleiche Kapitel 2.5.1). Für Betrachtungsräume nach dieser Grenze ist das Programm prädestiniert.

Tabelle 5-1: Grenzen: Nahfeld Fernfeld bei realen Netzen

	Grenze r Nahfeld/Fernfeld in m	
	bei Antennenlänge 0,1 m	bei Antennenlänge 0,2 m
D-Netz (um 0,9 GHz)	0,06	0,25
E-Netz (um 1,8 GHz)	0,12	0,5
UMTS (um 2,1 GHz)	0,14	0,55

5.3 Programmbeschreibung WinField® Telecommunication

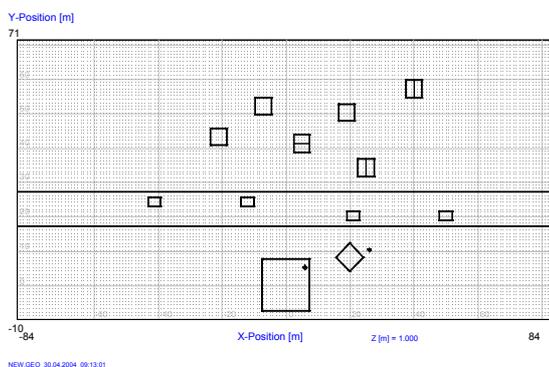
Mit dem Programmpaket WinField® wurde eine Software entwickelt, mit der es möglich ist elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz zu berechnen. Somit ist es möglich Feldberechnungen für

den Bereich der Energieversorgung und des Mobilfunks durchzuführen und hinsichtlich der Einhaltung der Grenzwerte der 26. BImSchV zu betrachten.

Mit der angewandten Version WinField® Telecommunication können unter anderem die Felder um Mobilfunkbasisstationen, Handys, Rundfunk- und TV-Sender, Radaranlagen, Amateurfunk, KW- und MW-Anlagen und Richtfunkstrecken berechnet und dargestellt werden. Hierbei besteht die Wahl zwischen elektrischer (E), magnetischer (H) Feldstärke oder Leitungsflussdichte (S) sowie jeweils die prozentuale Auslastung von Grenzwerten verschiedener nationaler und internationaler Normen, wie zum Beispiel die der 26. BImSchV.

Die Berechnungsfläche kann 32000 mal 32000 Punkte betragen und in einem Raster von 1 mm Schritten abgearbeitet werden. Grenzen sind hierbei durch die Fähigkeiten des Computers gesetzt. Sinnvoll und ausreichend für Berechnungen ist allerdings ein Raster von 50 cm, um die Rechenzeit nicht extrem zu erhöhen.

Zur Berechnung einer, oder mehrerer Anlagen gleichzeitig, ist die Umgebung des Standortes grob zu konstruieren. Es besteht die Möglichkeit Grundrisse und Landkarten aus dem Katasteramt einzubinden, um eine genaue Ausrichtung der Gebäude zu erhalten. Nach der Umgebung müssen die technischen Daten der Antennenanlage integriert werden. Dazu besteht die Möglichkeit aus einer Vielzahl vorgefertigter Antennen zu wählen, oder mit wenigen Schritten selbst eine Anlage zu konstruieren. Nach Fertigstellung der Konstruktion sind die Berechnungsparameter einzustellen und im Anschluss daran kann der Berechnungsvorgang gestartet werden. Dieser kann, je nach Fläche und Berechnungsraster, zwischen wenigen Sekunden und einigen Stunden dauern.

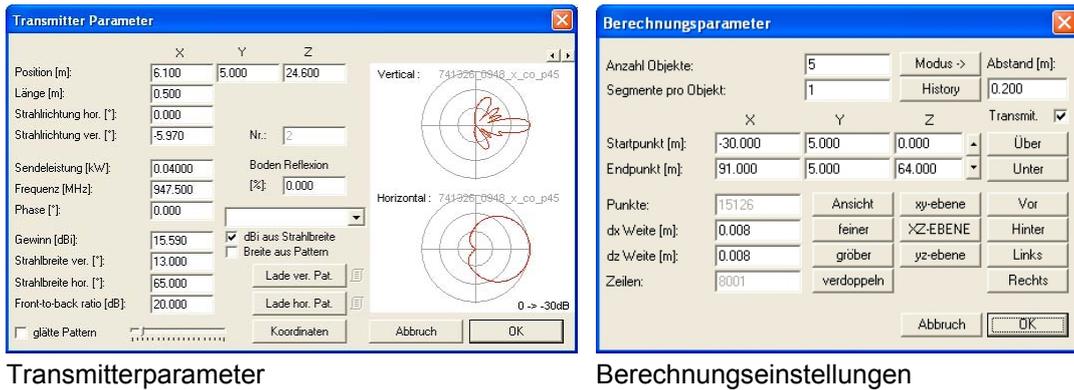


Konstruktionsansicht XY



Konstruktionsansicht XZ

Abb. 5-1: Beispiele für Konstruktionsansichten in WinField®

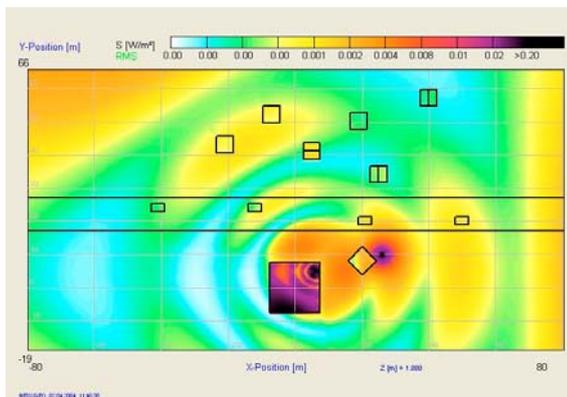


Transmitterparameter

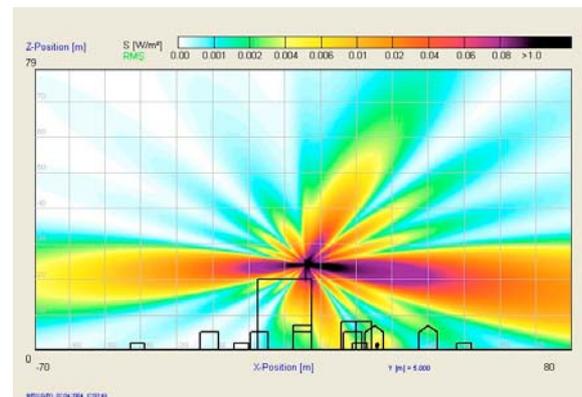
Berechnungseinstellungen

Abb. 5-2: Dialoge zum Einstellen der Antennen- und Berechnungsparameter bei WinField®

Die Ergebnisse lassen sich nun auf vielfältige Art darstellen. So hat der Anwender die Wahl zwischen zweidimensionaler Darstellung, Verlauf von ISO-Linien oder dem dreidimensionalen Anblick in Virtual Reality. Es besteht über die Farbauswahl auch die Möglichkeit die Zonen einfach zu kennzeichnen und zu trennen, welche Grenzwerte einhalten bzw. überschreiten. [14]



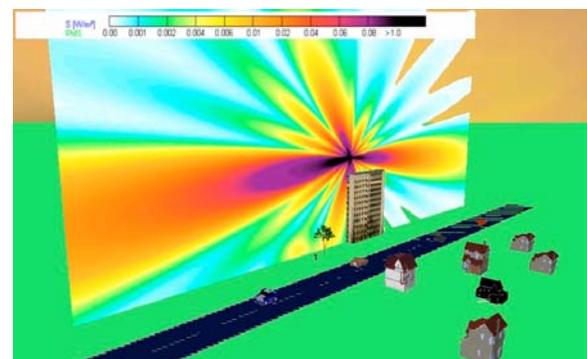
Ergebnisse als 2D-Plot in XY-Ansicht.



Ergebnisse als 2D-Plot in XZ-Ansicht.



Ergebnisse in 3D-Ansicht mit ISO-Linien.



Ergebnisse in 3D-Ansicht mit Schnitt durch die Y-Ebene.

Abb. 5-3: Beispiele für Berechnungsausgaben bei WinField®

5.4 Berechnung mit WinField® Telecommunication

WinField® Telecommunication berechnet Feldstärken und Leistungsflussdichte nach DIN VDE 0848. Die Richtcharakteristik bzw. die Form der verallgemeinerten Kugelfunktionen wird mittels des Winkelanteils, welcher aus normalisierten sphärischen Harmonischen besteht, berücksichtigt. Dazu können Kenndaten wie Öffnungswinkel eingegeben oder komplette Richtstrahldiagramme eingelesen werden. Horizontale und vertikale Richtstrahldiagramme sind unabhängig voneinander und werden mit einer Interpolation dritter Ordnung in kontinuierliche räumliche Funktionen umgesetzt.

Die Software normiert den Winkelanteil durch Integration über die Oberflächen in Abhängigkeit vom Radialanteil auch bei Vorgabe von Richtstrahldiagrammen, dadurch ist der Strahlungsfluss durch jede Oberfläche über dem Gelände, vom Nah- bis Fernbereich, unter der Annahme leitenden Erdbodens konstant.

Wird vom Benutzer kein Antennengewinn angegeben, ermittelt das Programm den Gewinn aus den Pattern mit 0,1 % Genauigkeit.

Das Programm basiert auf einem der fundamentalsten physikalischen Gesetze - der Energieerhaltung - und approximiert den Nahbereich eines Senders über die Kontrolle des Fernfeldes. Denn auch im Nahbereich gilt Energieerhaltung, wobei die räumliche Verteilung gegenüber einer Punktquelle durch Segmentierung verbessert wird. Dabei werden die normalisierten sphärischen Harmonischen nicht im Mittelpunkt eines Senders angesetzt, sondern aus einer vorgegebenen Anzahl von Teilstrahlern mit endlichem Radius modelliert.

Bei der Berechnung großflächiger Gebiete werden keine Materialkonstanten von Störobjekten berücksichtigt, da diese lediglich Rechenzeit und Fehleranzahl erhöhen würden. WinField® bezieht nur einen Bodenreflexionsfaktor (freie Angabe in Prozent) und einen individuellen Gebäudedämpfungsfaktor in die Berechnung mit ein.

Da bei WinField® Telecommunication Energieerhaltung vorausgesetzt wird, ist das Verfahren hinsichtlich Geschwindigkeit und Genauigkeit anderen Methoden zur Feldberechnung überlegen. [14]

5.4.1 Glätten der Pattern von Antennen

Die von den Herstellern der Antennen bereit gestellten Richtdiagramme liefern die theoretisch berechnete Richtcharakteristik, die diese Antennenkonstruktion bietet. In der Realität sind die Abstrahlcharakteristiken aber weitaus weniger stark konturiert ausgeprägt. WinField® Telecommunication bietet deshalb die Möglichkeit die Pattern zu glätten. Dabei wird das Richtdiagramm in Sektoren geteilt und der Maximalwert des Sektors auf das gesamte Intervall übertragen. Anschließend wird das Pattern neu normiert, damit der Antennengewinn korrekt bleibt. Je nach Glättungsgrad, also Einteilung der Intervalle, ergibt sich damit ein geradlinigerer Verlauf der Kurve, welche stärker dem realen Abstrahlverhalten der Antenne entspricht.

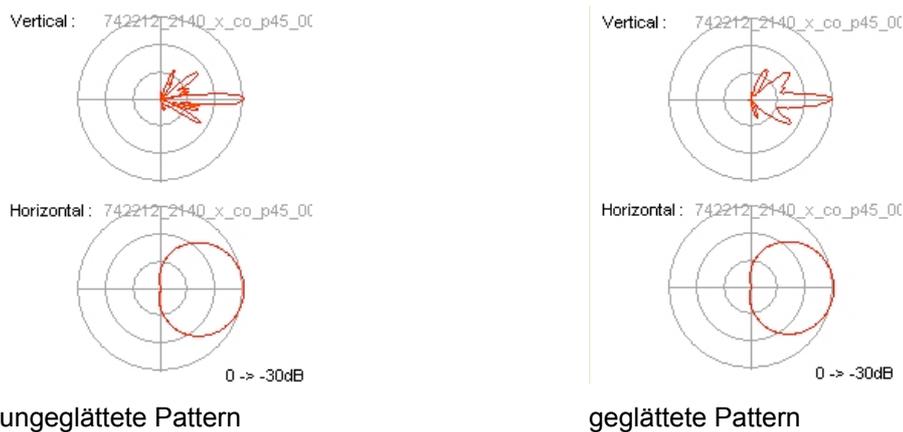


Abb. 5-4: Vergleich der geglätteten und ungeglätteten Pattern bei WinField®

5.4.2 Segmentierung der Antenne

Um den Nahbereich um die Antennen noch besser darstellen und berechnen zu können, ist in dem Programm eine Funktion eingebaut, welche über eine Segmentierung der Antenne den Nahbereich genauer berechnet. Nach der in Abschnitt 5.2 angegebenen Gleichungen (9) ist die Grenze nicht nur von der Wellenlänge, sondern auch von der Größe der Antenne abhängig. Über die einstellbare Segmentierung der Antenne kann der Anwender die gewählte Antennengröße in mehrere kürzere Antennen einteilen, was auch bei Mobilfunkantennen der Realität (vergleiche 2.5.1) entspricht.

Damit wird der Punktstrahler in eine Anzahl von kleinen Teilstrahlern mit endlichem Radius geteilt, deren Felder mit unterschiedlicher Phasenlage sich superpositionieren und flächenmäßig von der Gesamtantenne lösen. Die Wirksamkeit und Anwendbarkeit dieses Verfahrens wurde von anderen Autoren überprüft und als akzeptabel für den Nahbereich befunden.

Für den Fernbereich ergeben sich bei dieser Berechnung keine nennenswerten Unterschiede. Aber dieses Verfahren liefert im näheren Bereich geringere Werte, als nach der normalen Fernfeldberechnung. Wie jedoch in 5.2 erwähnt, sind diese Werte meist überhöht und das Verfahren der Segmentierung liefert genauere Werte.

5.4.3 Synthetisches Modell zur Berechnung der Elektrischen Feldstärke

Ebenfalls in WinField® Telecommunication integriert, ist ein Modell, welches zur Berechnung der elektrischen Feldstärke geeignet ist und sowohl im Nahfeld, als auch in der Fernfeldregion anwendbar ist. Hierbei wird die Segmentierung der Antenne zu Grunde gelegt.

Nach [13, S. 50] ergibt sich die elektrische Feldstärke am Untersuchungspunkt durch die Vektorsumme von n kleinen Anschnitten einer Antenne, sofern diese als getrennte Abschnitte betrachtet werden:

$$E = \sum_n \alpha_n \cdot \frac{\sqrt{30 \times P_n \times G_n}}{r_n} \cdot e^{j\left(\gamma_n + \frac{2\pi r_n}{\lambda}\right)} \quad (12)$$

Dabei ist:

r_n der Abstand zwischen dem Untersuchungs- und dem Bezugspunkt für den n -ten Abschnitt

P_n die Eingangsleistung für den n -ten Abschnitt

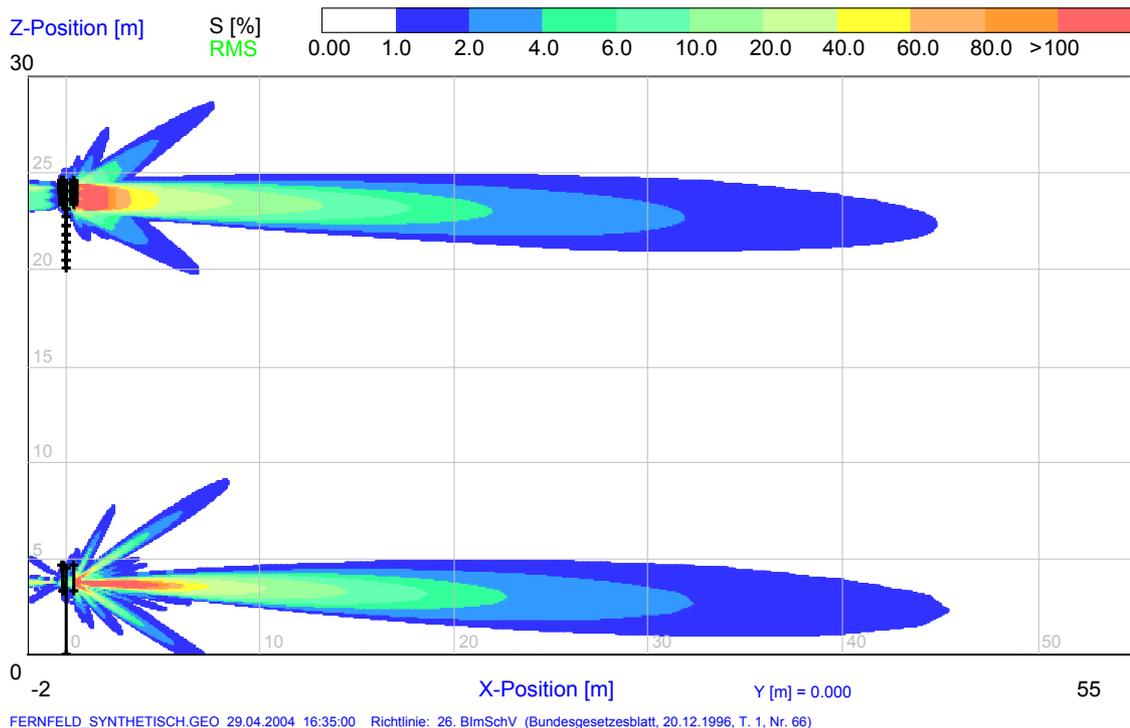
γ_n die relative Phase der am n -ten Abschnitt angelegten Spannung

G_n der Antennengewinn des n -ten Abschnitts in Richtung des Untersuchungspunktes relativ zu einer isotropen Antenne

α_n Gewichtskoeffizient

Wird die hiermit ermittelte elektrische Feldstärke E mit der magnetischen Feldstärke H multipliziert, so ergibt sich als Produkt die Leistungsflussdichte S . Das Verfahren liefert noch nicht den exakten Wert, aber einen Wert, der für den Zweck der Feldberechnung um Antennen sichere Ergebnisse bietet und damit zum Nachweis der Einhaltung von Anforderungen geeignet ist [13, S.76].

Leistungsflussdichte in % vom Grenzwert der 26. BImSchV
unten: Fernfeldmodell; oben: synthetisches Modell mit 10fach geteiltem Emitter



Die Grafik zeigt einen Transmitter, welcher mit dem Fernfeldmodell berechnet wurde (unten), und einen, der über das Synthetische Modell berechnet wurde (oben).

Abb. 5-5: Vergleich der Berechnungsmodelle Fernfeld - synthetisch

5.4.4 Schirmwirkung von Gebäuden

Bei der Berechnung der Felder kann der Benutzer, den in der Geometrie eingebetteten Gebäuden, auch eine Schirmwirkung zuweisen. Hierfür steht eine Tabelle mit Schirmfaktoren verschiedener Materialien zur Auswahl, welche gebäudespezifisch fest zugeordnet werden können. Der Faktor ist dann konstant und unabhängig von der Gebäudegröße. Realistischer ist die Möglichkeit, die Schirmfaktoren volumenabhängig zu berücksichtigen. Dabei wird die Schirmung

auf eine Kantenlänge von 20 m normiert. Bei kleineren Gebäuden ist der Faktor geringer und bei größeren Gebäuden höher.

5.5 Vergleich der Berechnungen

Damit die Ergebnisse, die das Programm liefert, glaubhaft sind und die damit gemachten Angaben korrekt sind, sollte das Berechnungsverfahren, welches WinField[®] Telecommunication verwendet, kritisch hinterfragt werden. Dazu wird beispielhaft die Berechnung der Leistungsflussdichte überprüft.

5.5.1 Vorbetrachtung

Zur Verifizierung der Berechnung von WinField[®] Telecommunication wurde eine Vergleichsberechnung mit MS Excel[™] gegenübergestellt. Für die Feststellung der Genauigkeit der Rechnung wurde eine Mobilfunkantenne ausgewählt, die relativ häufig eingesetzt wird. Es handelt sich um die Kathrein-Antenne mit der Kennung 742212 (siehe Anhang 9.1). Gewählt wurde die Ausführung ohne Downtilt. Für die Leistung wurde, typisch für den Einsatz bei UMTS, 40 W eingetragen. Die technischen Daten der Antenne wurden direkt, ohne Manipulation aus dem Pattern „742212_2140_x_co_p45_00t.msi“ übernommen. Als Umgebung ist die WinField[®] Vorlage „v_limit“ zugrunde gelegt worden, welche schnell einen vertikalen Schnitt durch das Feld liefert.

Die Antenne wurde im Koordinatenursprung angeordnet und auf eine Mittenhöhe von 10 m gebracht. Als zu berechnende Fläche wurde der Bereich von -2 m bis 120 m in x-Richtung sowie von 0 m bis 64 m in z-Richtung, bei einem Raster von 1,4 cm eingestellt.

Betrachtet werden die Berechnungsergebnisse der Hauptkeule in Hauptstrahlrichtung. Somit werden die Werte auf 10 m Höhe, in Schritten zu 50 cm aufgenommen. WinField[®] bietet die Möglichkeit, die Werte des Feldes an jeder beliebigen Stelle des berechneten Areals anzuzeigen. Anhand des Rasters und der angezeigten Koordinaten ist ein geradliniger Verlauf beim Ablesen der berechneten Werte gewährleistet. Für eine einfachere Ermittlung der Werte besteht aber auch die Möglichkeit, die Werte in eine tabellierte Textdatei zu

exportieren. Diese Datei ist mit MS Excel™ kompatibel und kann darin formatiert und ausgelesen werden.

Die Berechnung mit MS Excel™ erfolgt mit der in der DIN VDE 0848 angegebenen Formel (4). Da in Hauptstrahlungsrichtung berechnet und abgelesen wird, ist für die Richtwirkung C der Faktor 1 zu setzen (vergleiche 2.5.2). Die gegebenen Antennendaten, wie Antennengewinn und Leistung werden eingesetzt und der Abstand in 50 cm - Schritten bis zu 120 Metern erhöht.

Beide Ergebnisse wurden in eine Tabelle eingetragen und der prozentuale Fehler pro Entfernung sowie der durchschnittliche Fehler errechnet.

5.5.2 Ergebnis

Als Resultat ist zu sagen, dass die Berechnungen mit WinField® Telecommunication zu mehr als 99,999 % genau sind und den Werten nach DIN-Berechnung entsprechen. Das ausführliche Ergebnis des Vergleiches ist der Tabelle im Anhang 10.2.4 zu entnehmen.

Für die Kathrein-Antenne 742212 mit der Gesamthöhe von $D=1,3$ m, was einer Dipolgröße von etwa 20 cm entspricht, liegt nach der Gleichung (9) in 5.2 bei der Wellenlänge der Frequenz 2140 MHz von $\lambda=14$ cm, die Grenze r von Nahfeld und Fernfeld bei etwa 55 cm. Im Fernfeld liegt die durchschnittliche Abweichung der Berechnung durch die Simulationssoftware WinField® bei etwa 0,00002 % gegenüber der Berechnung mit MS Excel™. Um die Größenordnungen der Fehler einzuordnen, ist hier zu erwähnen, dass es sich bei den Abweichungen um Differenzen im Bereich von weniger als $1 \mu\text{W pro m}^2$ handelt. Messtechnisch können solche Werte jedoch nicht exakt nachgewiesen werden. Ursache für die Abweichungen ist die Tatsache, dass WinField® intern nur mit sechs Nachkommastellen rechnet, wogegen MS Excel™ noch mehr Stellen berücksichtigt. Erst nach dieser Stelle nach dem Komma sind Differenzen vorhanden.

Nach diesem Vergleich der Berechnungen in Hauptstrahlungsrichtung ist festzustellen, dass eine Simulation mit der Software sinnvoll, weil genau und schnell ist. Es wird darauf geschlossen, dass das angewandte Verfahren des Programms konform den Anforderungen ist und in allen Richtungen korrekte Ergebnisse liefert.

5.6 Vorteile einer Simulation

An dieser Stelle wird kurz darauf eingegangen, wieso zur Bestimmung der Felder um Mobilfunkanlagen eine Simulation gegenüber einer Messung vorgezogen wird. Mit der Berechnung durch die Software wird schnell ein genaues, darstellbares Ergebnis geliefert, welches den Anforderungen der Normen genügt. Durch die Simulation ist es möglich, den Einfluss von verschiedenen Faktoren zu berechnen, ohne dass diese bereits existieren müssen. Somit können bereits im Vorfeld Aussagen zu Feldern getroffen werden, ohne eine real strahlende Quelle zu nutzen. Mit Hilfe der digitalen Verarbeitung und Speicherung besteht die Möglichkeit untersuchte Objekte jederzeit schnell zu bearbeiten und erneut zu untersuchen.

Auch die zuständige Behörde in Deutschland (RegTP) nutzt für die Festlegung der Sicherheitsabstände von Mobilfunksendeanlagen, Simulations- und Berechnungssoftware.

Die Vorteile der Simulation mit WinField[®] liegen in der schnellen, sehr genauen (siehe Abschnitt 5.5.), normgerechten und problemlosen Ermittlung der Feldstärken und Leistungsflussdichten sowie der Möglichkeit die Ergebnisse unmittelbar, frei skalierbar und anschaulich darzustellen.

Aber die Simulation hat auch Nachteile und Grenzen. So können ständig schwankende Felder oder besondere Verhältnisse vor Ort nur sehr schwer nachgebildet werden. Um punktuelle Stellen real zu betrachten, bietet sich die Messung am Ort als bessere Variante an. Auch für die Betrachtung der zeitlichen Entwicklung der Felder in der Praxis, sollte ein aufwendiger Messaufbau vorgezogen werden. Jedoch sind Messungen, welche, wie es die Norm vorschreibt, den worst-case betrachten so umfangreich oder unmöglich, dass an dieser Stelle die Vorteile der Simulation überwiegen.

Zur Vollständigkeit wird an dieser Stelle auch auf zwei weitere Simulationsprogramme auf dem Markt aufmerksam gemacht. Als erstes ist das Programm *Quickplan* der italienischen Firma Teleinformatica e Sistemi zu nennen. Dieses ist eine Weiterentwicklung eines Planungstools, wie es Netzbetreiber zur Auslegung ihrer Netze nutzen [16, S. 26]. Dementsprechend ist die

Anschaulichkeit nicht so stark ausgeprägt. Der Wiedererkennungswert der simulierten Standorte ist mehr für Experten, weniger für Laien gedacht. Wichtig ist aber, dass mit dem Programm korrekte Ergebnisse der Feldberechnung zu erhalten sind, welche auch Reflexions- und Brechungssituationen an Gebäuden oder Ähnlichem berücksichtigen.

Ebenfalls zur Feldberechnung für Mobilfunkanlagen eignet sich die französische Software *EMF Visual – Electromagnetic Exposure Software*. Mit diesem Programm können sehr realitätsnahe 3D Landschaften nachgebildet werden, jedoch ist die Konstruktion dieser sehr aufwendig [17]. Nachteilig ist vor allem, dass die genau gezeichneten Gebäude dann nicht in dieser Form berechnet werden. Einfache aussagekräftige 2D-Plots sind recht schwer zu erhalten. Alles in allem ist diese Software für schnelle Ergebnisse zu kompliziert und in der Rechenzeit zu langsam.

Das von der Forschungsgesellschaft angebotene Programm WinField® vereinigt die realitätsnahe, wiedererkennbare Darstellung der Landschaften und die genaue Berechnung des Dargestellten. Selbst die Feldverteilung in Gebäuden, mit sämtlichen Wänden, lässt sich konstruieren und exakt berechnen. Die vielfältigen Ausgabemöglichkeiten der Ergebnisse kommen außerdem positiv hinzu.

Tabelle 5-2: Übersicht über eine Auswahl verfügbarer Berechnungssoftware

	<i>Vorteile</i>	<i>Nachteile</i>
Quickplan	<ul style="list-style-type: none"> • Exakte Berechnungen • Berücksichtigung von Reflexion und Beugung • Ursprünge aus der Netzplanung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenig anschauliche Landschaften • Ergebnisse vornehmlich für Experten verständlich
EMF Visual	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr realitätsnahe Landschaften darstellbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Komplizierte Gebäudestrukturen werden in der Berechnung wieder idealisiert • lange Rechenzeit • aufwendige Bedienung
WinField®	<ul style="list-style-type: none"> • Einfache Bedienung • Umfangreiche und exakte Berechnungsmöglichkeiten • Hoher Wiedererkennungswert der Landschaften möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Grenzen bei der Nachbildung der Gebäudeformen

5.7 Darstellung der Abstrahlung von Mobilfunkfeldern

An dieser Stelle werden verschiedene Effekte, wie sie Mobilfunknetzen eigen sind kurz erläutert. Die Darstellungen geben Ergebnisse aus WinField® wieder und bieten die Möglichkeit die in Kapitel 7 folgenden Berechnungsergebnisse zu interpretieren und zu verstehen.

Zur Verdeutlichung sind die Effekte auf den Abbildungen verstärkt und teilweise übertrieben dargestellt, aber nicht unreal gezeigt.

Die erste Abbildung 5-6 zeigt die weite Umgebung um eine Mobilfunkanlage (A). Da aus der Landschaft sämtliche störenden Elemente entfernt wurden, ist die typische Kleeblattform um eine Basisstation erkennbar. Die großen roten Stellen markieren die theoretischen Auftreffpunkte der Hauptkeulen der Antennen, wenn diese ungehindert abstrahlen könnten. Anhand dieser Abbildung wird die zellulare Gestaltung und sektorisierte Anordnung der Antennen deutlich sichtbar.

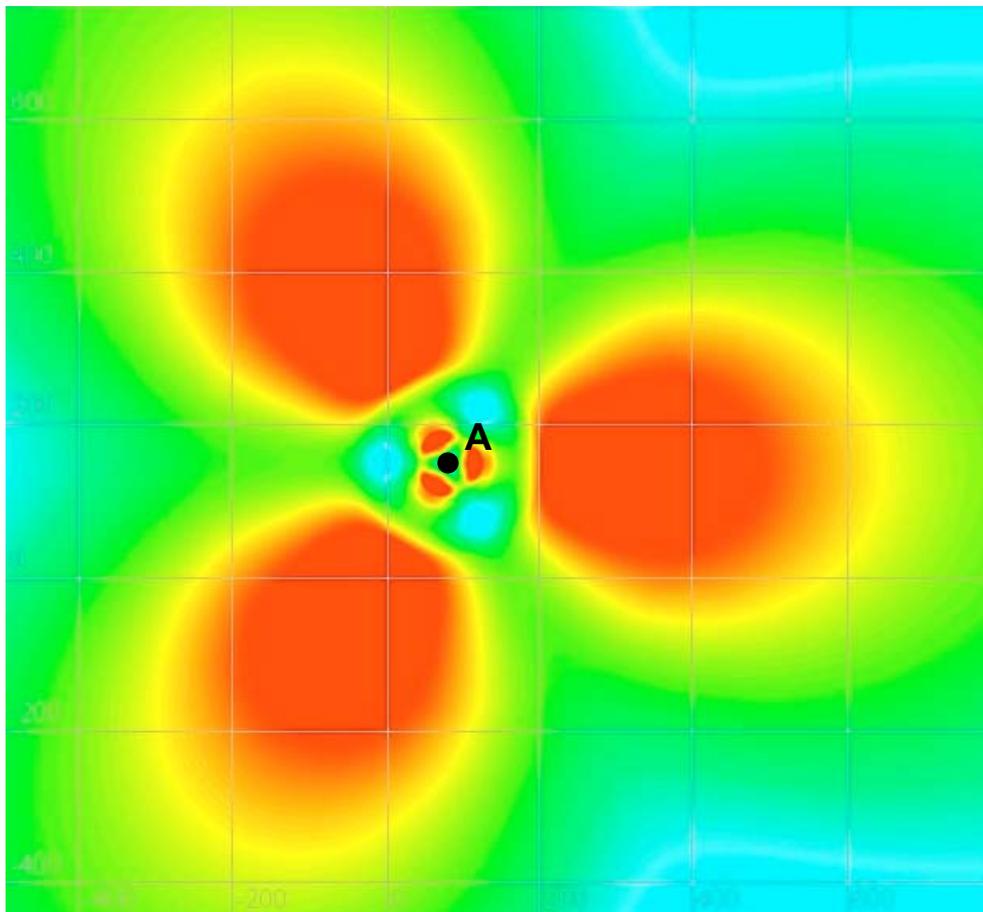


Abb. 5-6: Auftreffpunkte der Hauptkeulen in weiter Entfernung zum Standort.

Anhand der nächsten Abbildung 5-7 wird die nähere Umgebung gezeigt, also den engeren Bereich um eine Mobilfunkanlage. In diesem Fall sind sogar zwei Masten (B, C) vorhanden. Aus dem Bild ist die Verteilung der Leistungsflussdichte in 1 m Höhe über dem Erdboden gezeigt. Deutlich sind die Überlagerungseffekte der benachbarten Antennen zu erkennen.

Eine derartige Konstruktion von Mobilfunkbasisstationen ist nicht vollkommen abwegig. Sie entsteht, wenn zum Beispiel die Antennenmasten außer Mobilfunkantennen auch Antennen für andere Systeme tragen und deshalb ein zweiter Mast für diesen Standort errichtet wird.

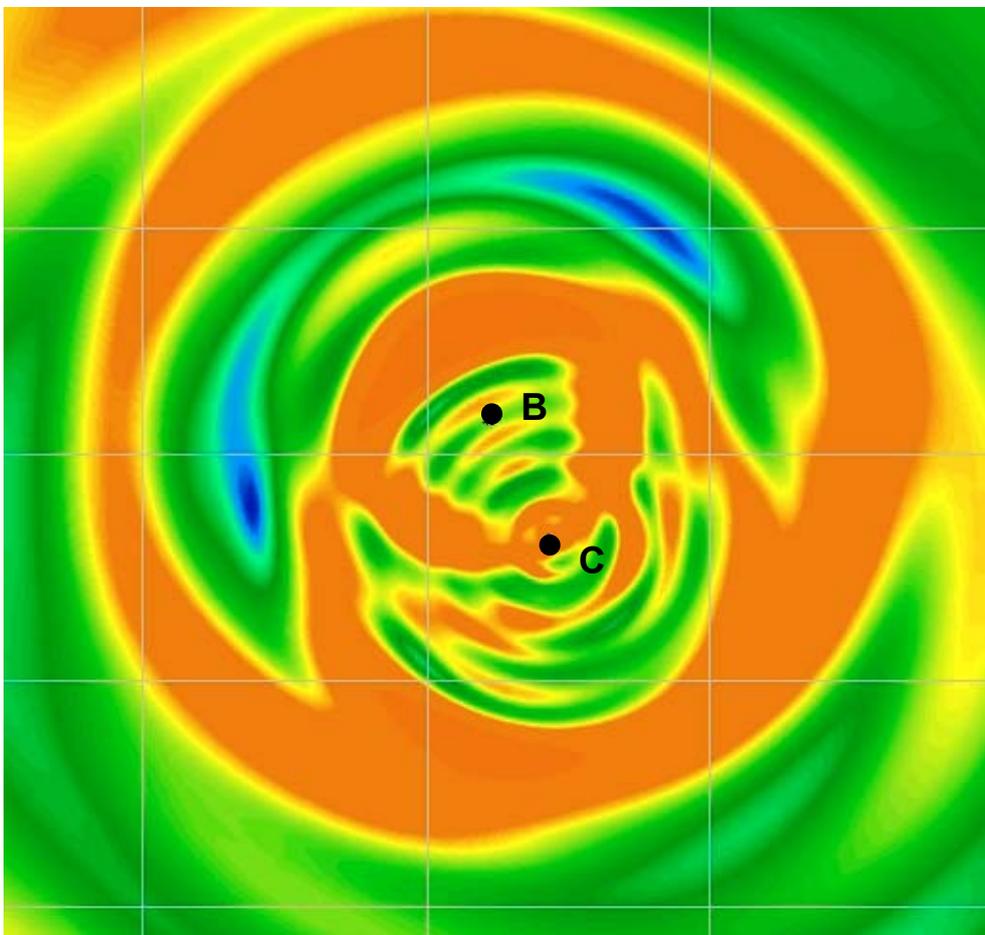


Abb. 5-7: Überlagerungseffekte der Strahlung zweier Mobilfunkanlagen.

Durch die Abbildung 5-8 wird ebenfalls die nähere Umgebung um eine Mobilfunkanlage (D) dargestellt. In diesem Fall handelt es sich aber nur um einen Sendemast. Außerdem sind diesmal Gebäude in die Berechnungsfläche integriert, wodurch gleich zwei Effekte deutlich werden.

Auf dem Bild sind deutlich konzentrische Ringe zu erkennen. Diese entstehen durch die Nebenkeulen der Antennen, welche zumeist steil nach unten gerichtet

sind. Durch die Tatsache, dass es mehrere Nebenkeulen dieser Art gibt, entstehen mehrere Ringe. Die Ringform selbst entsteht dadurch, dass durch die sektorförmige Anordnung der Antennen ein einzelner Kugelstrahler nachgebildet wird. Damit wird ersichtlich, dass mit einer entsprechenden Richtcharakteristik und einer sinnvollen Anordnung der Antennen ein rundum geschlossenes Areal versorgt werden kann ist.

Der zweite Effekt ist der Höhenversatz. An den Gebäuden, wie bei dem, was sich in der linken unteren Bildecke befindet (G), scheinen sich die Ringe zu verschieben. Dieser Effekt entsteht durch die WinField® Programmeinstellung, dass die Berechnung in 1 m Höhe über der jeweiligen Oberfläche stattfinden soll. Da ein Gebäudedach höher ist als der Erdboden, ergibt sich, dass die Nebenkeulen zuerst auf das höhere Dach treffen. Durch die schräge Strecke, welche sich zwischen Antenne und Boden bzw. Gebäude befindet, verschieben sich die Ringe auf dem Erdboden nach außen.

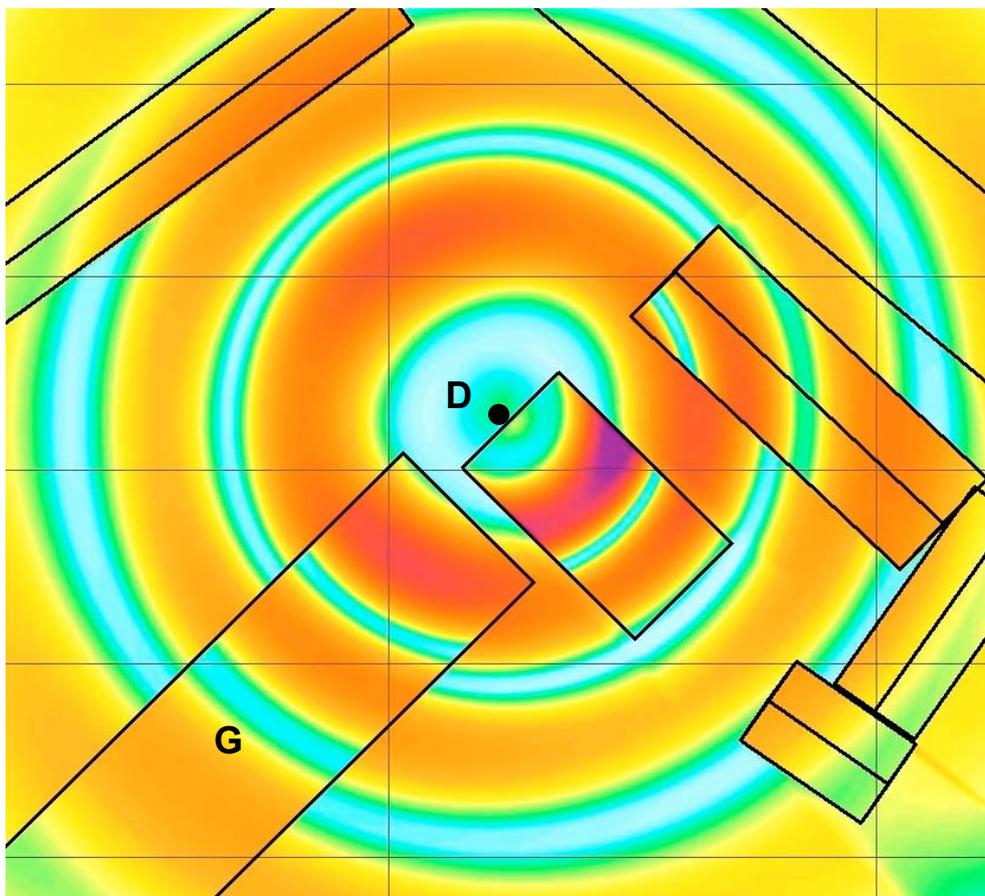


Abb. 5-8: Beispiel für Ringbildung um Sendemasten und Höhenversatz an Gebäuden.

Die Betrachtung der Feldverteilung auf dem Boden mit dem Einfluss der Gebäude verdeutlicht Abbildung 5-9. Durch die Dämpfung der Gebäude erfolgt eine starke Abschattung der Flächen, welche nicht in direktem Sichtkontakt zur Mobilfunkanlage liegen.

Die gelben und roten Flächen stellen die direkte Bestrahlung durch die Mobilfunkanlagen auf dem Dach des zentralen Gebäudes dar. Nur da ist der Empfang direkt von den Antennen. Andere Stellen, wie die dunkelblau eingefärbten sind vollkommen von den Antennen abgeschattet. Dort ist der Empfang fast ausschließlich durch Streu- und Reflexionsstrahlung möglich.

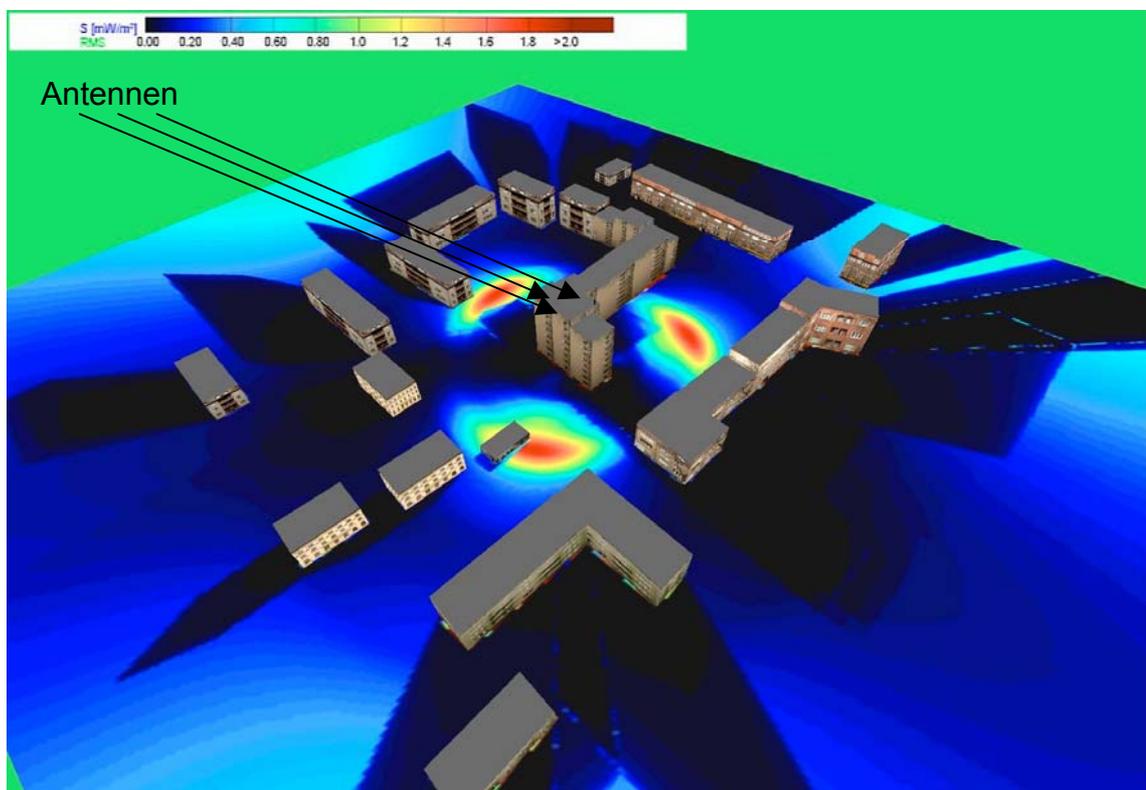


Abb. 5-9: Schattenwurf der Mobilfunkstrahlung durch Gebäudedämpfung.

Die folgenden Abbildung 5-10 und 5-11 zeigen die unterschiedliche Feldverteilung um Mobilfunkbasisstationen und Mobiltelefone.

Zuerst ist aus Abbildung 5-10 die leuchtturmartige Abstrahlung der Antennen der Basisstationen erkennbar. Die Abbildung 5-11 zeigt zu der gleichen Situation die horizontale Verteilung in 1 m Höhe über der jeweiligen Oberfläche.

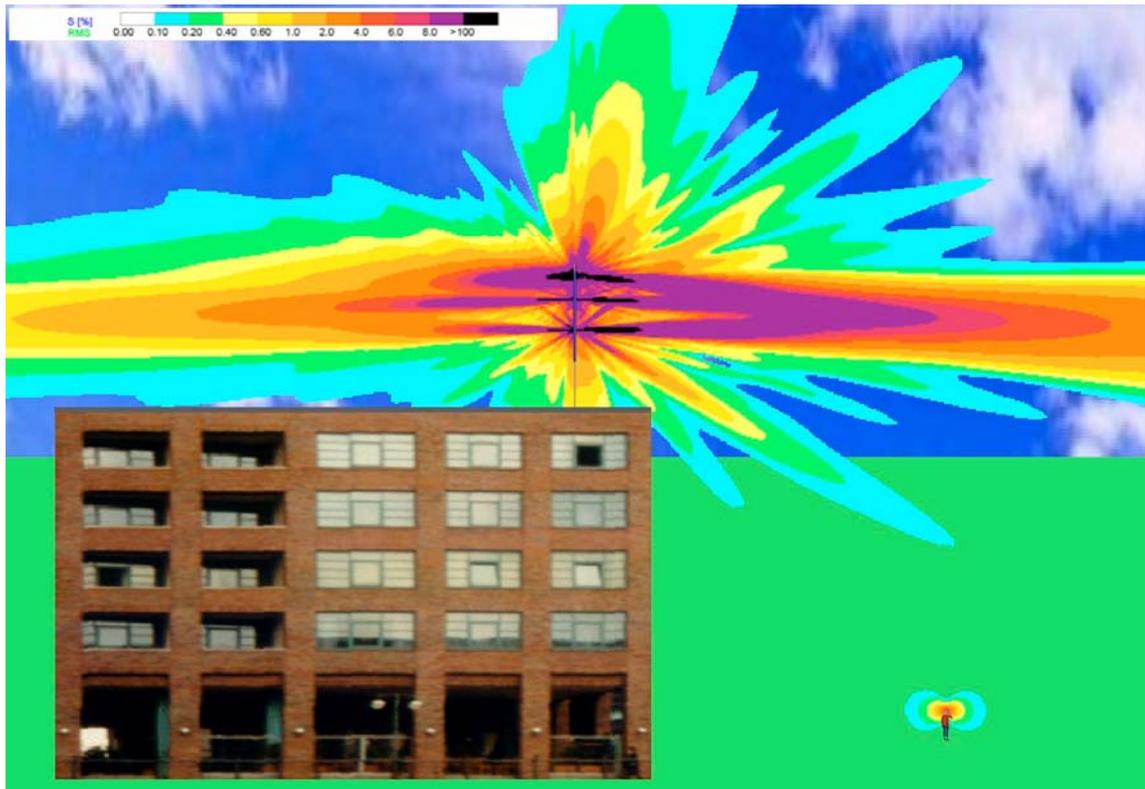


Abb. 5-10: 3-dimensionale Ansicht: Prozentuale Auslastung der Grenzwerte; Vergleich des Einflusses auf den Menschen durch Mobilfunkbasisstation und Mobiltelefon.

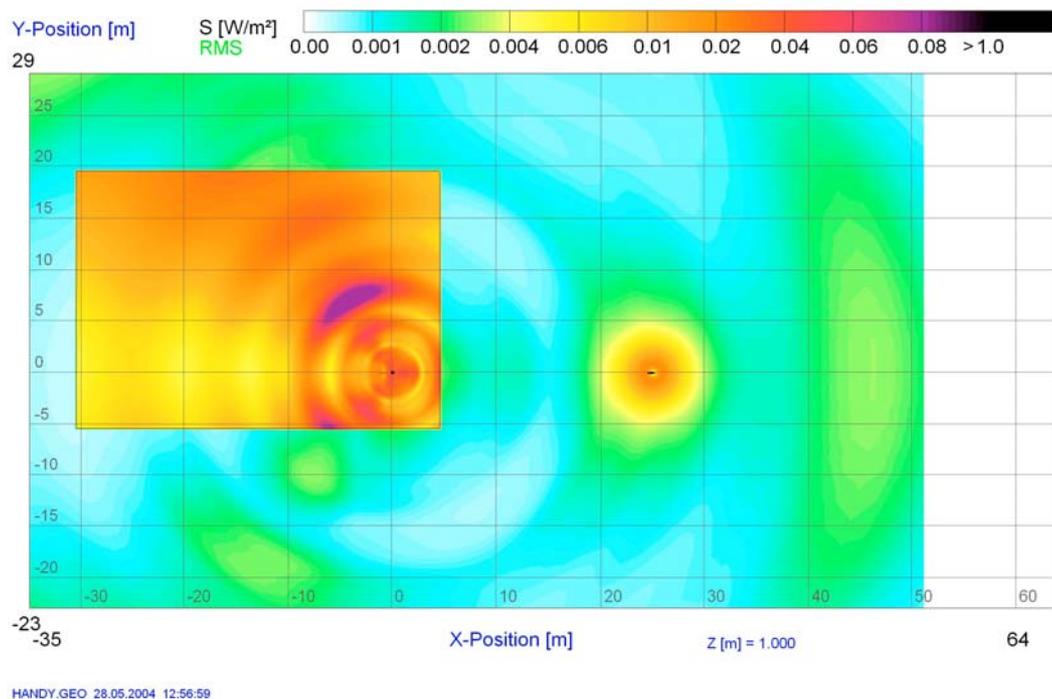


Abb. 5-11: Verteilung der Leistungsflussdichte in 1 m Höhe über der jeweiligen Oberfläche, um die Mobilfunkbasisstation und das Mobiltelefon.

Als Nebeneffekt der Abbildungen 5-10 und 5-11 besteht die Möglichkeit den Einfluss des Handys auf den Menschen gegenüber dem Einfluss einer Basisstation zu vergleichen.

Hauptsächlich dreht es sich bei der Diskussion um die Felder von Mobilfunkeinrichtungen um die Basisstationen. Es steht fest, dass die Antennen an den Masten mit höheren Strahlungsleistungen sowie konstant arbeiten und deshalb von der unwissenden Bevölkerung als Gefahr deklariert werden. Wird aber bedacht, inwieweit Menschen in die Nähe der Antennen gelangen und welche Mobilfunkeinrichtungen sie häufiger nutzen bzw. welcher sie näher kommen, so wird schnell klar, dass das Mobiltelefon weitaus stärker für die Bestrahlung des Menschen verantwortlich ist, als die Mobilfunksendeanlagen.

Im Alltag passieren Personen die Basisstationen in größeren Entfernungen, Sichtlinien von 50 m und mehr sind die Regel. Das Handy wird allerdings ständig mit sich getragen und beim telefonieren nur wenige Zentimeter vom Kopf entfernt gehalten.

Die gezeigten worst-case Berechnungen nehmen eine Basisstation mit 9 Antennen, die jeweils zwischen 30 und 40 Watt abstrahlen und ein Handy mit 0,5 Watt maximaler Sendeleistung zur Grundlage.

Es ist auf den Bildern zu erkennen, dass in dieser Situation der Einfluss des Handys auf den Menschen gegenüber dem Einfluss der Basisstation überwiegt, denn von dem Strahlungsaufkommen der Basisstation trifft nicht so viel auf dem Menschen, wie von dem Handy.

Selbstverständlich gilt es bei dieser Darstellung zu beachten, dass die gezeigten Betrachtungen den worst-case darstellen. Der berechnete Fall, dass alle neun installierten Antennen mit maximaler Sendeleistung arbeiten, ist für die Praxis unrealistisch, verdeutlicht hier aber den worst-case. Ebenso arbeitet ein Handy nicht konstant mit voller Sendeleistung.

Trotzdem ist als Fazit zu sagen, dass beim täglichen Umgang mit Mobilfunkeinrichtungen, der Strahlungseinfluss durch Mobiltelefone gegenüber dem Einfluss von Mobilfunkbasisstationen in der Regel überwiegt.

6 VORSTELLUNG DER ZU BERECHNENDEN MOBILFUNKANLAGEN

6.1 Vorwort

Der Großraum Berlin ist dicht besiedelt und stark frequentiert. Demzufolge ist die Anzahl an Mobilfunksendeanlagen sehr hoch. Allein in den Berliner Stadtbezirken Steglitz und Zehlendorf befinden sich zusammen 191 Standorte für Mobilfunksendeanlagen.

Die Grundausswahl der Mobilfunkanlagen erfolgte in Abstimmung mit dem Umweltamt des Bezirksamtes Steglitz-Zehlendorf von Berlin. Dort wurden eine Reihe, das Umweltamt interessierende Anlagen vorgelegt und nach Absprache acht Standorte ausgewählt.

Vom Umweltamt wurden zu diesen Anlagen die dazugehörenden Standortbescheinigungen ausgehändigt.

Da diese Daten zur Berechnung nicht ausreichend sind, wurden im Anschluss die vollständigen technischen Daten der Mobilfunkanlagen, wie sie auch die RegTP erhält, von den Netzbetreibern der entsprechenden Anlagen angefordert.

Um die Standorte genauer nachzubilden, stellte das Bauordnungsamt des Bezirksamtes Steglitz-Zehlendorf Auszüge aus dem Liegenschaftskataster zur Verfügung. Diese Karten im Maßstab 1:1000 geben den jeweiligen Standort im Zentrum und direkt bestrahlte Gebiete der Umgebung positionsgenau wieder.

Für einen erhöhten Wiedererkennungswert der dreidimensionalen Darstellungen wurden die am Standort befindlichen Gebäude fotografiert und als Textur in die Software eingebunden.

An dieser Stelle werden nun fünf Standorte vorgestellt, welche einen ersten Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten der Gestaltung von Mobilfunkanlagenstandorten geben.

Selbstverständlich kann dies nur eine Auswahl sein, da jeder Standort an die jeweilige Umgebung und Anforderungen angepasst sein muss und demzufolge anders konfiguriert ist. Hier werden Dach- und Mastkonstruktionen aufgezeigt, welche weitab oder in großer Nähe zu Menschen errichtet wurden. Daneben ist eine unterschiedliche Standortauslastung, in Bezug auf die Anzahl der Antennen, aus dieser Auswahl ersichtlich.

6.2 Standort 1: Brentanostraße 30 in Steglitz

Die Mobilfunkanlage in der Brentanostraße wurde auf dem höchsten Gebäude dieses Wohngebietes installiert. Die Dachanlage befindet sich somit direkt über der Wohnung der obersten Etage, worauf hier auch das größte Augenmerk liegt. Ansonsten ist dieses Areal als Wohngebiet weniger von Passanten frequentiert und mit 2 bis 4-geschossigen Wohngebäuden vergleichsweise schwach besiedelt.



Oben Links: Der Wohnblock mit der Mobilfunkanlage.

Oben Rechts: Die betreffende Wohnung mit einer UMTS- und einer GSM-Antenne.

Links: Die Antennen am Dachrand, ausgerichtet auf ihren Sektor.

Abb. 6-1: Standort Brentanostraße

Da der Standort nur von einem Betreiber genutzt wird, ist die Anzahl der Antennen auf dem Dach gering. Es befindet sich lediglich je eine Antenne für das GSM- und das UMTS-Netz pro Sektor auf dem Gebäude. Diese, insgesamt 6 Antennen, sind jeweils für Ihren Sektor am Rande des Daches installiert und strahlen dort vom Gebäude weg. Somit wird kein zentraler Träger, sondern ein separates Standrohr für jede Antenne verwendet, welches die Antennenunterkante jeweils auf 2 m über der Dachfläche fixiert.

Tabelle 6-1: Übersicht der Antennen am Standort Brentanostraße 30

GSM 900 3 Antennen	Antennentyp	739664
	Antennengewinn (dBi)	13,5
	Betriebsfrequenz (Hz)	935
	Anzahl der Kanäle	4
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	15
	Hauptstrahlrichtungen	60°, 180°, 300°
UMTS 3 Antennen	Antennentyp	742212
	Antennengewinn (dBi)	18
	Betriebsfrequenz (Hz)	2110
	Anzahl der Kanäle	2
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	20
	Hauptstrahlrichtungen	60°, 180°, 300°

6.3 Standort 2: Altkanzlerstraße 3 „Krumme Lanke“ in Zehlendorf

Das Gebiet, in welchem sich diese Mobilfunksendeanlage befindet hat starken Vorortcharakter. Eine Vielzahl von kleinen Ein- und Zweifamilienhäusern mit großzügigen Grundstücken sowie niedrige Wohnblöcke kennzeichnen die Gegend. Entscheidend und relevant für die Berechnung ist aber die Tatsache, dass sich in unmittelbarer Entfernung zum Antennenstandort eine Kindertagesstätte befindet. Für das Gebäude und die dazugehörige Spielfläche im Freien sind die Bestrahlungen interessant. Außerdem befindet sich nebenan ein Schulgebäude, in welchem tagsüber viele Kinder am Unterricht teilnehmen. Des Weiteren ist zu erwähnen, dass am Standort eine S-Bahnlinie vorbei führt, welche regelmäßig genutzt wird.



Oben links: Die drei Antennenmasten in der Altkanzlerstraße.

Oben rechts: Der einzige, zur Zeit schon mit Mobilfunkantennen belegte Mast.

Links: Die nahegelegene Kita, mit dem Spielgelände der Kinder.

Abb. 6-2: Standort Altkanzlerstraße

An diesem Standort werden als Antennenträger zwei hohe Masten verwendet. Am ersten Mast hat ein Betreiber jeweils 3 GSM und 3 UMTS-Antennen installiert. Der zweite Mast trägt ebenfalls 6 Antennen für die Netze eines anderen Betreibers, wenn die bestehende Planung und Anmeldung bei der RegTP vollzogen wird. Für die Betrachtung wird in diesem Fall angenommen, dass bereits die 6 Mobilfunkantennen installiert sind. Darüber hinaus befinden sich an einem weiteren Mast auch noch Antennen für die Berliner Verkehrsbetriebe. Diese, in einem anderen Frequenzband operierenden Sender, dienen für die Kommunikation mit Bussen und Bahnen, finden aber bei der Berechnung keine Beachtung.

Tabelle 6-2: Übersicht der Antennen am Standort Altkanzlerstraße 3 „Krumme Lanke“

GSM 900 3 Antennen	Antennentyp	739665
	Antennengewinn (dBi)	15
	Betriebsfrequenz (Hz)	935
	Anzahl der Kanäle	4
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	15
	Hauptstrahlrichtungen	0°, 120°, 240°
	<i>geplant</i>	
GSM 1800 3 Antennen	Antennentyp	739707
	Antennengewinn (dBi)	16
	Betriebsfrequenz (Hz)	1853
	Anzahl der Kanäle	4
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	31,6
	Hauptstrahlrichtungen	0°, 120°, 250°
	<i>geplant</i>	
UMTS 3 Antennen	Antennentyp	741990
	Antennengewinn (dBi)	18,2
	Betriebsfrequenz (Hz)	2110
	Anzahl der Kanäle	2
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	20
	Hauptstrahlrichtungen	0°, 120°, 240°
	<i>geplant</i>	
UMTS 3 Antennen	Antennentyp	742212
	Antennengewinn (dBi)	18
	Betriebsfrequenz (Hz)	2130
	Anzahl der Kanäle	2
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	20
	Hauptstrahlrichtungen	90°, 210°, 330°
	<i>geplant</i>	

6.4 Standort 3: Machnower Straße 3 in Zehlendorf

Dieser Standort befindet sich fast genau im Zentrum von Zehlendorf. Das Gebiet ist dicht besiedelt und wegen der zentralen Lage stark frequentiert. Die Antennenanlage befindet sich zwar nicht direkt an einer Hauptverkehrsader doch in unmittelbarer Nähe dazu. Interessant gestaltet sich die Anlage aufgrund der Tatsache, dass sich der Antennenträger auf dem Dach eines Wohngebäudes befindet. Bei diesem Haus wurde der Dachboden als Technikraum ausgebaut und

ein Antennenmast wurde am Giebel installiert. Weiterhin ist interessant, inwieweit der benachbarte Bahnsteig der S-Bahn von dem hoch stehenden Mast bestrahlt wird. Da an diesem Standort wenige Ausbaumöglichkeiten gegeben sind, befinden sich nur sechs Antennen am Standort. Ein Betreiber versorgt sein GSM- und sein UMTS-Netz von dort aus mit jeweils 3 Antennen.



Oben Links: Das Dachgeschoss mit darunterliegender Wohnung und Antennenträger.

Oben Rechts: Der Dachgiebel mit Antennenträger und den 6 Mobilfunkantennen.

Links: Ein kleiner Überblick über die Lage des Gebäudes in dessen Umgebung.

Abb. 6-3: Standort Machnower Straße

Tabelle 6-3: Übersicht der Antennen am Standort Machnower Straße 3

GSM 900 3 Antennen	Antennentyp	739681
	Antennengewinn (dBi)	15
	Betriebsfrequenz (Hz)	935
	Anzahl der Kanäle	4
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	15
	Hauptstrahlrichtungen	0°, 120°, 240°
UMTS 3 Antennen	Antennentyp	741784
	Antennengewinn (dBi)	18
	Betriebsfrequenz (Hz)	2110
	Anzahl der Kanäle	2
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	20
	Hauptstrahlrichtungen	0°, 120°, 240°

6.5 Standort 4: Potsdamer Chaussee 42 in Zehlendorf

An diesem Standort liegen nur wenige große Gebäude in unmittelbarer Nähe. Der Bereich ist weniger dicht besiedelt, aber durch die vorbeiführende Bundesstraße trotzdem stark frequentiert. Die Brisanz dieser Anlage besteht aufgrund der Vielzahl von Antennen, die an diesem Mast installiert sind. Viele der Anwohner der Einfamilienhäuser, im Umkreis der Höhe des Mastes, befürchten für ihre Heime eine über den Grenzwerten liegende Strahlungsbelastung. Ansonsten zählen ein Friedhof und eine Parkgegend zum erweiterten Umkreis der Sendeanlage.



Links: Das Gebäude, welches die Systemtechnik der Mobilfunkanlage beherbergt.

Rechts: Die Spitze des Mastes mit sämtlichen Antennen.

Abb. 6-4 Standort Potsdamer Chaussee 42

Die Anlage selbst besteht aus einem Technikgebäude, in dem die Telekommunikationsanlagen untergebracht sind und einem hohen Mast, welcher die Antennen trägt. Den Standort teilen sich drei Netzbetreiber, allesamt versorgen sie jeweils ihr GSM und ihr UMTS Netz mit je drei Antennen pro Sektor. Dies bedeutet, dass sich an dem Mast insgesamt 18 Mobilfunkantennen befinden.

Tabelle 6-4: Übersicht der Antennen am Standort Potsdamer Chaussee 42

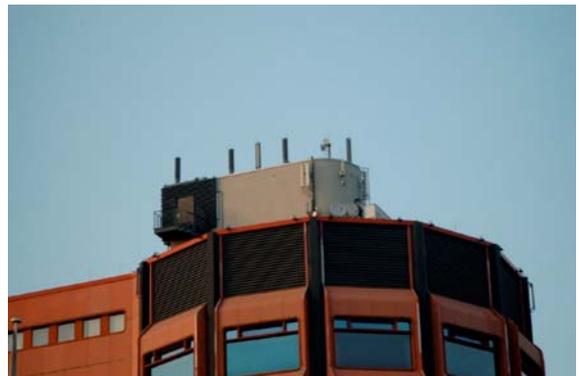
GSM 900 6 Antennen	Antennentyp	736863
	Antennengewinn (dBi)	17,5
	Betriebsfrequenz (Hz)	935
	Anzahl der Kanäle	4
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	10
	Hauptstrahlrichtungen	30°, 130°, 240°
GSM 900 3 Antennen	Antennentyp	739664
	Antennengewinn (dBi)	13,5
	Betriebsfrequenz (Hz)	935
	Anzahl der Kanäle	4
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	15
	Hauptstrahlrichtungen	0°, 120°, 240°
UMTS 3 Antennen	Antennentyp	742212
	Antennengewinn (dBi)	18
	Betriebsfrequenz (Hz)	2110
	Anzahl der Kanäle	2
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	20
	Hauptstrahlrichtungen	30°, 130°, 240°
UMTS 3 Antennen	Antennentyp	742212
	Antennengewinn (dBi)	18
	Betriebsfrequenz (Hz)	2100
	Anzahl der Kanäle	2
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	20
	Hauptstrahlrichtungen	0°, 120°, 240°
UMTS 3 Antennen	Antennentyp	742212
	Antennengewinn (dBi)	18
	Betriebsfrequenz (Hz)	2130
	Anzahl der Kanäle	2
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	20
	Hauptstrahlrichtungen	90°, 210°, 330°

6.6 Standort 5: Schloßstraße 17 „Bierpinsel“ Steglitz

Die Schloßstraße ist eine belebte Einkaufs- und Geschäftsstraße in Berlin. Der Bierpinsel ist ein architektonisch ungewöhnliches Gebäude, in dem sich Restaurants und Diskotheken befinden. Aufgrund der Umgebung mit Geschäften und anderen anziehenden Einrichtungen, halten sich oft viele potentielle Nutzer von Mobiltelefonen im Gebiet um den Bierpinsel auf. Diese Tatsache führt dazu, dass sich viele Personen um die, auf dem Dach des Gebäudes angebrachten Antennen, befinden. Zudem passieren noch mehr Personen in Fahrzeugen auf der hochgelegenen Stadtautobahn den Standort. Deswegen ist es von Interesse die Bestrahlung dieser Umgebung zu berechnen und zu bewerten.



Das außergewöhnlich Bauwerk, der Bierpinsel.



Die Mobilfunkantennen an und auf dem Dach.



Ein Blick vom mittleren Podest des Gebäudes auf die belebte Schloßstraße.



Abb. 6-5 Standort Schloßstraße 17

Wie erwähnt, befinden sich die Mobilfunkantennen auf dem Dach des Gebäudes. Ein Netzbetreiber installierte seine insgesamt 6 Antennen (GSM und UMTS, je eine für einen der 3 Sektoren) sogar seitwärts an der Dachkonstruktion. Außerdem wurde am Fuß, in geringer Höhe, noch eine kleine Antenne mit wenig Leistung (max. 2 W) angebracht, welche den stark abgeschatteten Bereich unter der Straße versorgen soll. Zwei weitere Betreiber nutzen Standrohre auf dem obersten Dach für die Befestigung der Antennen.

Tabelle 6-5: Übersicht der Antennen am Standort: Schloßstraße 17 „Bierpinsel“

GSM 900 3 Antennen	Antennentyp	736623
	Antennengewinn (dBi)	12,5
	Betriebsfrequenz (Hz)	935
	Anzahl der Kanäle	4
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	20
	Hauptstrahlrichtungen	0°, 120°, 240°
GSM 900 1 Antenne	Antennentyp	739303
	Antennengewinn (dBi)	2,4
	Betriebsfrequenz (Hz)	935
	Anzahl der Kanäle	2
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	2
	Hauptstrahlrichtungen	300°
GSM 1800 3 Antennen	Antennentyp	739496
	Antennengewinn (dBi)	18
	Betriebsfrequenz (Hz)	1853
	Anzahl der Kanäle	4
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	20
	Hauptstrahlrichtungen	90°, 210°, 330°
UMTS 3 Antennen	Antennentyp	742212
	Antennengewinn (dBi)	18
	Betriebsfrequenz (Hz)	2130
	Anzahl der Kanäle	2
	Spitzenleistung pro Kanal (W)	20
	Hauptstrahlrichtungen	90°, 210°, 330°

6.7 Andere Standorte

Die Grenzwerte, wie sie in der 26. BImSchV angegeben sind, beruhen, wie in Kapitel 4 erwähnt, auf den internationalen Empfehlungen der INIRC und der IRPA. Zwar sind diese Empfehlungen international allgemein anerkannt, doch werden sie nicht immer in vollem Umfang in Gesetze und Normen umgesetzt. Hinzu kommt, dass nicht in jedem Land die Einhaltung der Grenzwerte so stark kontrolliert und der Aufbau von Mobilfunknetzen so streng reguliert wird.

Außerhalb von Deutschland sind deshalb Standorte möglich, welche den deutschen Richtlinien nicht konform wären. Neben der zweifelhaften Einhaltung von Strahlungsgrenzwerten, ist hier außerdem auch optisch ein Mangel an Anpassungsfähigkeit oder Anpassungswilligkeit zu bemerken. Darüber hinaus kann auch über die Anlagensicherheit, was Zugang für Unbefugte und Konstruktion betrifft, diskutiert werden.



Strandabschnitt in Süditalien. Eine Vielzahl von Antennenmasten stehen in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander.



Einer der Antennenmasten, welcher relativ ungesichert ist.

Abb. 6-6: Beispiele für Verteilung von Basisstationen außerhalb von Deutschland.

An dieser Stelle ist es jedoch wichtig, Folgendes zu erwähnen: Die für deutsche Verhältnisse ungewöhnliche Verteilung und Anordnung von Mobilfunkanlagen, wie in oben dargestelltem Beispiel, ist keinesfalls die Regel und überall der Fall.

Die empfohlenen Grenzwerte sind Vorsichtsmaßnahmen. Eine Überschreitung dieser Werte stellt nicht automatisch eine Gesundheitsgefährdung da. Sind in einem Land andere höhere Grenzwerte, als in Deutschland gesetzlich festgelegt, so ist es durchaus möglich und wahrscheinlich, dass diese von den erwähnten Anlagen eingehalten werden.

Neben diesen Beispielen für eine scheinbar wenig strenge Regulierung von Mobilfunknetzen, sei noch hinzugefügt, dass einige Länder auch andere, härtere Grenzwerte und Richtlinien vorschreiben. Dabei ist insbesondere die Schweiz zu nennen, welche in ihrer Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) teilweise andere Höchstwerte vorschreibt, als die 26. BImSchV und die Einhaltung dieser auch scharf kontrolliert.

Ziel dieses Abschnitts war es, zu verdeutlichen, dass die Problematik um Mobilfunksendeanlagen nicht überall so behandelt wird, wie in Deutschland. Zwar sind die Netze standardisiert, funktionieren also gleich, trotzdem werden sie an anderen Orten oftmals stärker akzeptiert.

7 BERECHNUNG DER MOBILFUNKSTANDORTE

Dieses Kapitel zeigt die Berechnungsergebnisse der verwendeten Software WinField[®] Telecommunication zu den in Kapitel 6 vorgestellten Mobilfunkanlagen. Anschaulich werden verschiedene Berechnungsebenen dargestellt, welche einen guten Überblick über die räumliche Verteilung der elektromagnetischen Strahlung geben.

7.1 Einführung

Vor der Darlegung der Ergebnisse sind noch einige, bei den Berechnungen getroffene, Festlegungen zu erwähnen und mögliche sowie vorhandene Fehlerquellen zu nennen.

7.1.1 Festlegungen

An jedem der vorgestellten Standorte befinden sich auch Richtfunkantennen, die den Betrieb der Mobilfunknetze sicherstellen. Diese Richtfunkantennen arbeiten mit einer sehr gerichteten Sendekeule mit äußerst schwachen Nebenkeulen. Da diesen Richtfunkverbindungen auch keine abschirmenden Gebäude im Weg stehen, arbeiten sie mit äußerst geringen Sendeleistungen. Aus diesem Grund werden diese Antennen bei der Berechnung der Mobilfunkanlagen nicht mit in Betracht gezogen. Einerseits wäre der Einfluss auf die Ergebnisse nicht bemerkbar, andererseits sollten weder Gebäude noch Personen in die Verbindungslinien einer Richtfunkstrecke geraten und somit bestrahlt werden, wodurch eine Betrachtung vernachlässigbar ist.

Für die, in die Umgebung eingebauten, Gebäude wird ein globaler Schirmfaktor von 3 dB (volumenabhängig, normiert auf eine Kantenlänge von 20 m) festgelegt und bei den Berechnungen verwendet. Dies ist ein sehr geringer Wert, um den worst-case-Charakter der Berechnungen zu verdeutlichen, in der Praxis ist die Dämpfung und Absorption durch die Gebäudefassaden weitaus höher. Eine genaue Bestimmung und Anpassung der Schirmfaktoren ist aber nicht sinnvoll und würde die Rechenzeit extrem verlängern.

7.1.2 Fehlerquellen

Trotz der genauen Berechnung durch das Programm, wie sie in Kapitel 5.5 nachgewiesen wurde, ist jedes Ergebnis in gewissem Maß fehlerbehaftet. Die Ursache dafür liegt aber nicht direkt bei der Berechnung, sondern viel mehr schon bei der Konstruktion der Berechnungsumgebung. Da es sich bei WinField® nicht um ein reines Konstruktionsprogramm handelt, sind die Gestaltungsmöglichkeiten eingeschränkt. Komplizierte architektonische Bauwerke lassen sich nicht nachbilden, sondern müssen mit Quadern angenähert werden. Da die Schirmwirkung aber ohnehin auf ein quaderförmiges Gebilde normiert wird, hält sich der Fehler hier in Grenzen.

Eine weitere Fehlerquelle in dieser Hinsicht sind die Höhenangaben der Gebäude. Zum einen konnten die Gebäudehöhe oftmals nur grob ermittelt werden, woraus sich hier ein Fehler von etwa +/- 1 m in der Konstruktion ergibt. Dieser relativiert sich allerdings wiederum durch die Normierung der Schirmwirkung.

Zum anderen, was unter Umständen gravierender sein kann, geht bei den folgenden Betrachtungen kein Höhenprofil der nachgebildeten Umgebung in die Berechnung ein. Somit werden Höhenunterschiede gegenüber N.N. (Normal-Null) nicht berücksichtigt. Zwar bietet WinField® prinzipiell die Einbindung von Höhenprofilen an, jedoch ist dies, bei den vorliegenden kleinflächigen Arealen nicht sinnvoll, da die Auflösung der Höhenprofile dafür zu grob ist. Da sich um die gegebenen Standorte keine enormen Höhendifferenzen ergeben, ist dieser Fehler für die Betrachtungen dieser Arbeit auch als vernachlässigbar zu betrachten.

Zuletzt ist noch der Positionierungsfehler zu nennen, welcher bei der Fläche des Areals in der Größenordnung von +/- 1 m liegt, dies entspricht maximal 0,4 %. Dieser entsteht einerseits minimal programmbedingt und andererseits durch ungenaue und unvollständige Angaben zur Konstruktion. Der Fehler ist allerdings nur relevant, wenn die Exposition auf besondere Gebäude bestimmt werden soll, für die Feldberechnung um Antennen hat der Fehler keinen Einfluss.

7.2 Durchführung

Nach dem Einholen der Unterlagen bei Betreibern und Behörden, beginnt die eigentliche Arbeit mit WinField®.

Als Einstieg ist die gescannte, oder anderweitig digitalisierte Hintergrundkarte in die Konstruktion einzubinden. Mit Hilfe der vorhandenen Umgebungsdaten, wie den Gebäudemaßen ist nun die Umgebung nachzubilden. Die Ausrichtung und Positionierung der Gebäude erfolgt mit Hilfe der Karten.

Auf Basis dieser Umgebung werden im nächsten Schritt die Antennen integriert. Dazu gehört die Anordnung und Ausrichtung sowie die Konfiguration der Richtcharakteristiken, der Leistungsdaten und der Frequenzen.

Danach können, wenn es gewünscht wird, für die dreidimensionale Ansicht wiedererkennbare Merkmale eingebracht werden. Dazu müssen Fotos der betreffenden Gebäude als Texturen auf die nachgebildeten Quader gelegt werden, womit die Ansicht der Virtual Reality noch mehr der Realität entspricht.

Vor Beginn des Rechenvorganges ist nun festzulegen, mit welchen Parametern gerechnet werden soll. Dazu zählen die zu berechnende Fläche, die Auflösung der Fläche, die Berechnungsebene und nicht zuletzt die Größe, die errechnet werden soll.

Ist der Berechnungsvorgang abgeschlossen, werden die Ergebnisse dargestellt. Sie können nun nach den Bedürfnissen analysiert, formatiert und exportiert werden.

Für die Betrachtungen in dieser Arbeit wird die prozentuale Auslastung der Grenzwerte der 26. BImSchV für die Leistungsflussdichte errechnet. Der Grund für diese Wahl liegt in der Tatsache, dass hierbei sämtliche Frequenzen der unterschiedlichen Netze berücksichtigt werden. Bei Darstellung der reinen Leistungsflussdichte, ist eine Aussage über das Einhalten der Grenzwerte schwieriger, da wie in Kapitel 4.1 gezeigt, für die Netze unterschiedliche Grenzwerte gelten. Zur Darlegung dienen ein Horizontalschnitt in 1 m Höhe über Erdboden und Gebäuden sowie ein Vertikalschnitt durch die Antennenträger. Abhängig vom Standort können aber auch noch andere Varianten hinzugezogen werden.

7.3 Standort 1: Brentanostraße 30

Die Berechnungen mit WinField® ergaben, dass die Grenzwerte, außerhalb der Dachfläche, überall zu weniger als 10 % ausgelastet werden. Mit Ausnahme der benachbarten Dachflächen, werden die Grenzwerte in 1 m Höhe über der Oberfläche sogar nur zu maximal 0,1 % erreicht. Auf dem Dach, über der betreffenden Wohnung, werden lediglich direkt vor den Antennen die Grenzwerte erreicht. Dieser Bereich, der Sicherheitsbereich, befindet sich außerhalb der äußeren Kanten des Dachrandes. Die weitere Dachfläche wird im worst-case Fall zu maximal 10 % die Grenzwerte ausnutzen.

Der vertikale Schnitt durch die Bestrahlungsflächen bestätigt die Aussage des Horizontalschnittes. Mit Ausnahme weniger Meter direkt vor der Antennenfläche, übertrifft die Leistungsflussdichte keinesfalls die Grenzwerte. Die höchsten Werte, welche die Wohnungsaußenwände erreichen, betragen, unter der Annahme der maximalen Antennennutzung 10 % der zulässigen Höchstwerte.

Die Ursache für die höheren Werte auf dem Dach liegt in der Tatsache, dass die verwendeten Antennen ein deutlicher ausgeprägtes Abstrahlverhalten hinter die Antennenfläche besitzen, als es bei anderen üblichen Antennen der Fall ist. Jedoch ist die abgestrahlte Leistung dahin sehr viel geringer, als in der Richtung der Hauptkeule.

Hierbei ist zu beachten, dass sich die ermittelten Werte 1 m über der Dachoberkante ergeben und damit schon über der Antennenunterkante sind. Innerhalb der Wohnung sind die Werte weitaus geringer.

Auf die umliegenden Dächer des Blockes strahlen die elektromagnetischen Felder stärker, weil sie näher an den Hauptkeulen der Mobilfunkantennen liegen. Jedoch wird auch dort durch die Betondecke ein so starker Strahlungsanteil absorbiert, dass die praktisch durchkommende Strahlung nur etwa 10 % davon beträgt.

Im Folgenden werden eine Auswahl von Berechnungsergebnissen dargestellt, welche die getroffenen Aussagen visualisieren.

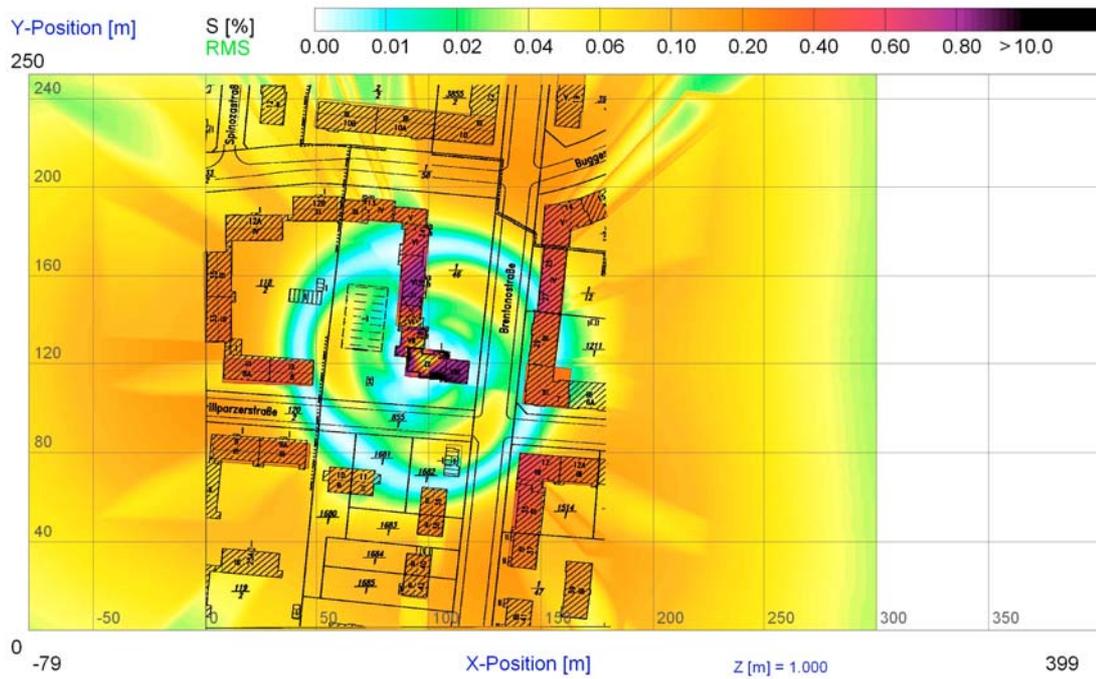


Abb. 7-1: Der Horizontalschnitt durch die Berechnungsebene in 1 m Höhe.

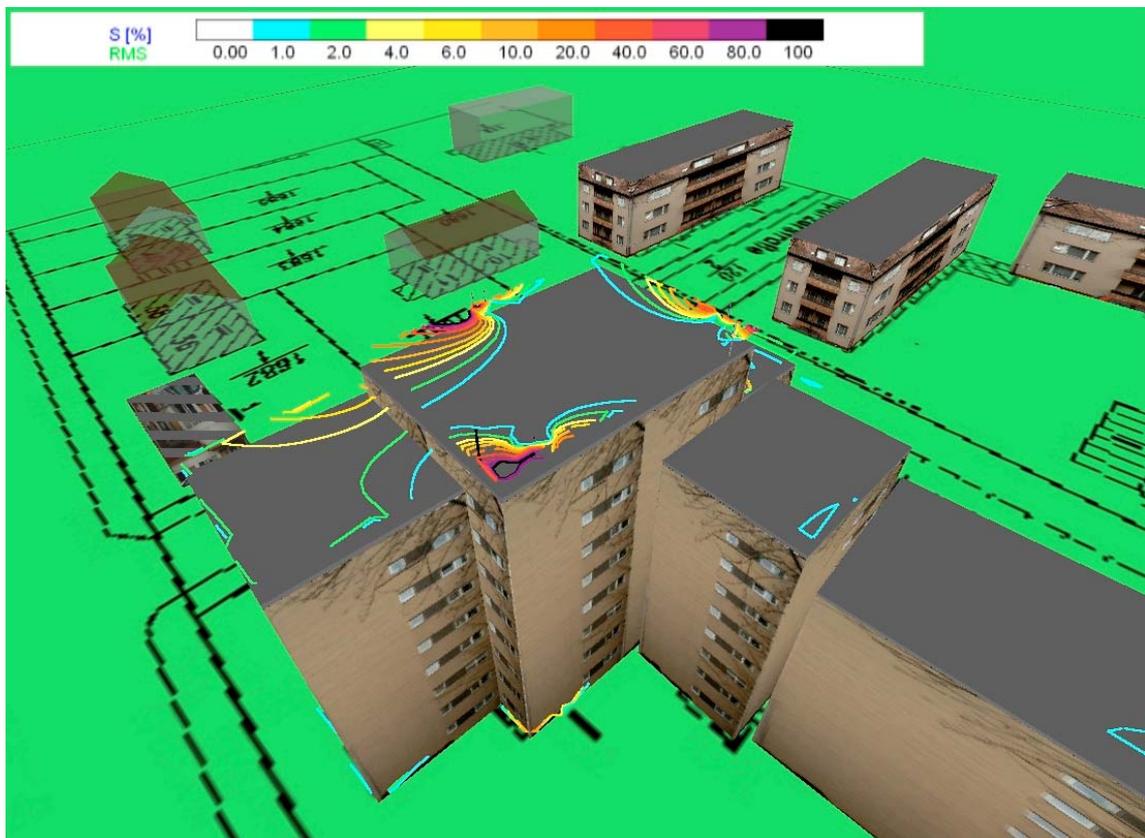


Abb. 7-2: Isolinen des Horizontalschnittes.

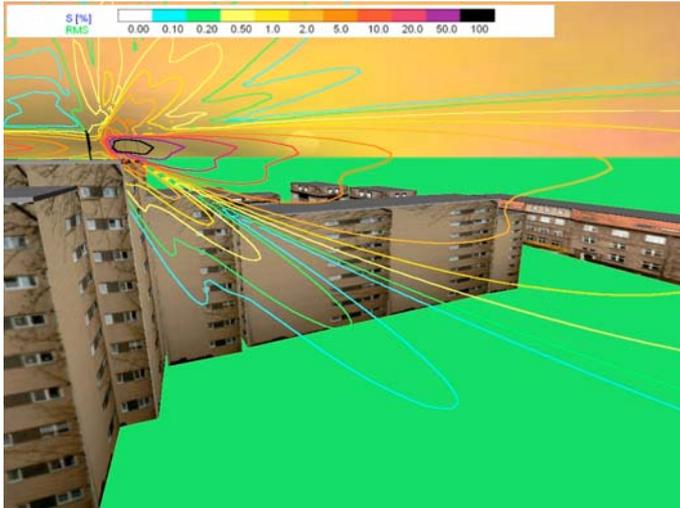


Abb. 7-3: Vertikalschnitt durch die Antennen für Sektor A.

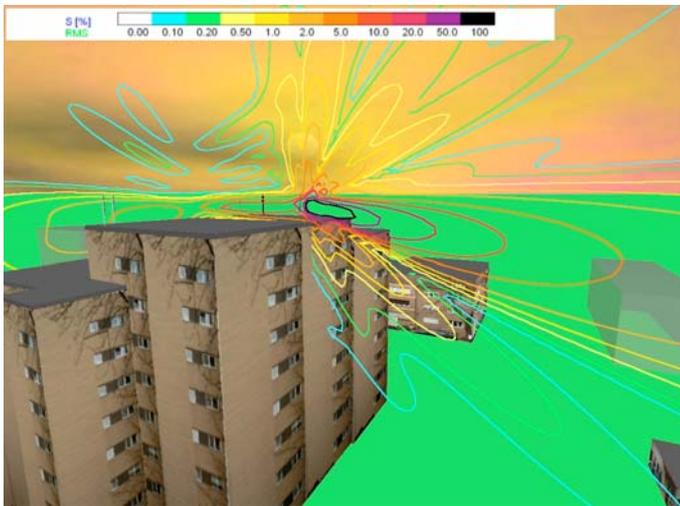


Abb. 7-4: Vertikalschnitt durch die Antennen für Sektor B.

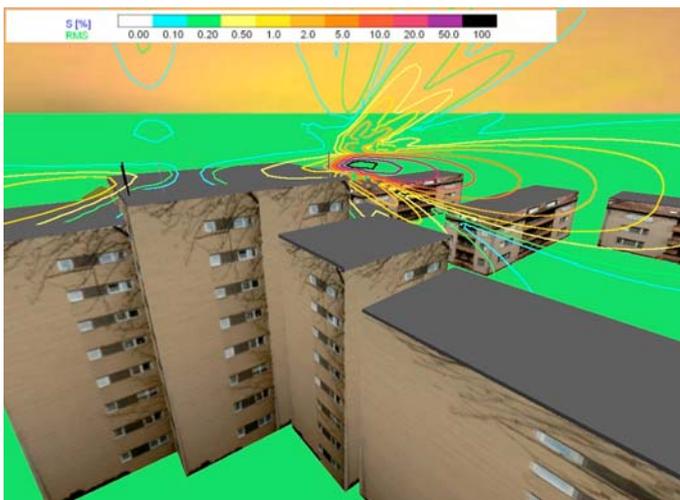


Abb. 7-5: Vertikalschnitt durch die Antennen für Sektor C.

In Abbildung 7-1 ist der Horizontalschnitt durch die Berechnungsebene in 1 m Höhe über der Oberfläche dargestellt. Anhand der Einfärbung ist die prozentuale Auslastung der Leistungsflussdichtegrenzwerte erkennbar. Nur die Flächen mit violetter und schwarzer Färbung stellen Bereiche mit mehr als 0,1 % der Grenzwertauslastung dar. Die übrigen Flächen, die weiß, blau, grün, gelb und rot eingefärbt sind, liegen weit darunter.

Anhand der Abbildung 7-2 verdeutlicht sich die Verteilung des Feldes auf dem Dach des Gebäudes. Hier zeigen Isolinien Gebiete mit gleichem Grenzwertprozentsatz an und durch die Farbe den jeweiligen Wert. Die dunklen Isolinien (violett und schwarz) vor den Antennen kennzeichnen den Sicherheitsbereich, denn da werden die Grenzwerte zu mehr als 80 % ausgereizt und auch überschritten. Danach ist anhand der blauen, grünen, gelben und orangen Linien erkennbar, dass 1 m über der restlichen Dachoberfläche die prozentuale Auslastung der Grenzwerte maximal 10 % beträgt.

Die Vertikalschnitte in den Abbildungen 7-1, 7-2, 7-3 zeigen jeweils einen Schnitt in Hauptstrahlrichtung durch die Antennenträger für jeden Sektor. Ähnlich dem Horizontalschnitt, kennzeichnen die violetten und schwarzen Linien hier Bereiche mit über 50 prozentiger Auslastung der Grenzwerte. Deutlich erkennbar ist, dass diese Bereiche weit vom Haus, und damit von der Wohnung, entfernt sind. Nur die roten Linien, die auf diesen Abbildungen für maximal 10 % Auslastung stehen, schneiden, neben Linien mit noch geringerer Auslastung (blau, grün, gelb) das Gebäude.

Fazit: Die Wohnung wird selbst unter der Betrachtung des worst-case von Strahlung getroffen, die sich weit unter den zulässigen Grenzwerten befindet. Die Sicherheitsabstände der Antennen sind gering und werden eindeutig eingehalten. Aus Sicht des Personenschutzes sind nach heutigem Erkenntnisstand keine Maßnahmen erforderlich.

7.4 Standort 2: Altkanzlerstraße 3 „Krumme Lanke“

Nach der Berechnung der elektromagnetischen Felder in der Umgebung des Mobilfunkanlagenstandortes in der Altkanzlerstraße mit WinField[®] ist folgendes Ergebnis zu formulieren.

Mit Ausnahme zweier exponierter Stellen, ist in 1 m Höhe über der jeweiligen Oberfläche mit einer maximalen Ausnutzung der Grenzwerte von höchstens 0,1 %, bei Betrachtung des worst-case, zu rechnen. An den erwähnten exponierten Stellen werden unter diesen Umständen die Grenzwerte zu maximal 0,4 % ausgereizt.

Für die Freiflächen und Spielzonen um die Kindertagesstätte und um die Schule kann festgestellt werden, dass hier der Grenzwertprozentsatz von 0,02 % nicht überschritten wird. Selbst die Berechnung in Höhe von 4 m über der Oberfläche, was etwa der Einstrahlhöhe in die Räume von Kita und Schule entspricht, beträgt der maximale Wert nur 0,04 % des zulässigen Grenzwertes.

Die gleiche Tendenz zeigen die Ergebnisse bei der Berechnung der vertikalen Ebenen. Sie bestätigen, dass über den Dächern von Kita und Schule maximal 0,1 % der zulässigen Obergrenzen erreicht werden könnten. Außerdem wird deutlich, dass sich alle am Ort befindlichen Gebäude unterhalb der Hauptkeulen der Sendeanlagen befinden. Einzig die hochgebaute Aula der Schule liegt mit ihrem Dach näher an einer Hauptkeule und ist demzufolge höherer Exposition ausgesetzt, als die Umgebung. Die zweite erwähnte Ausnahme ist das Technikgebäude unterhalb der Sendemaste. Auf dem Dach treffen mehrere nach unten gerichtete Nebenkeulen zusammen und erzeugen deshalb dort die erhöhte Exposition gegenüber der Nachbarschaft.

Die nachstehenden Abbildungen zeigen Darstellungen aus der Berechnungssoftware WinField[®] und helfen die Schlussfolgerungen zu verdeutlichen.

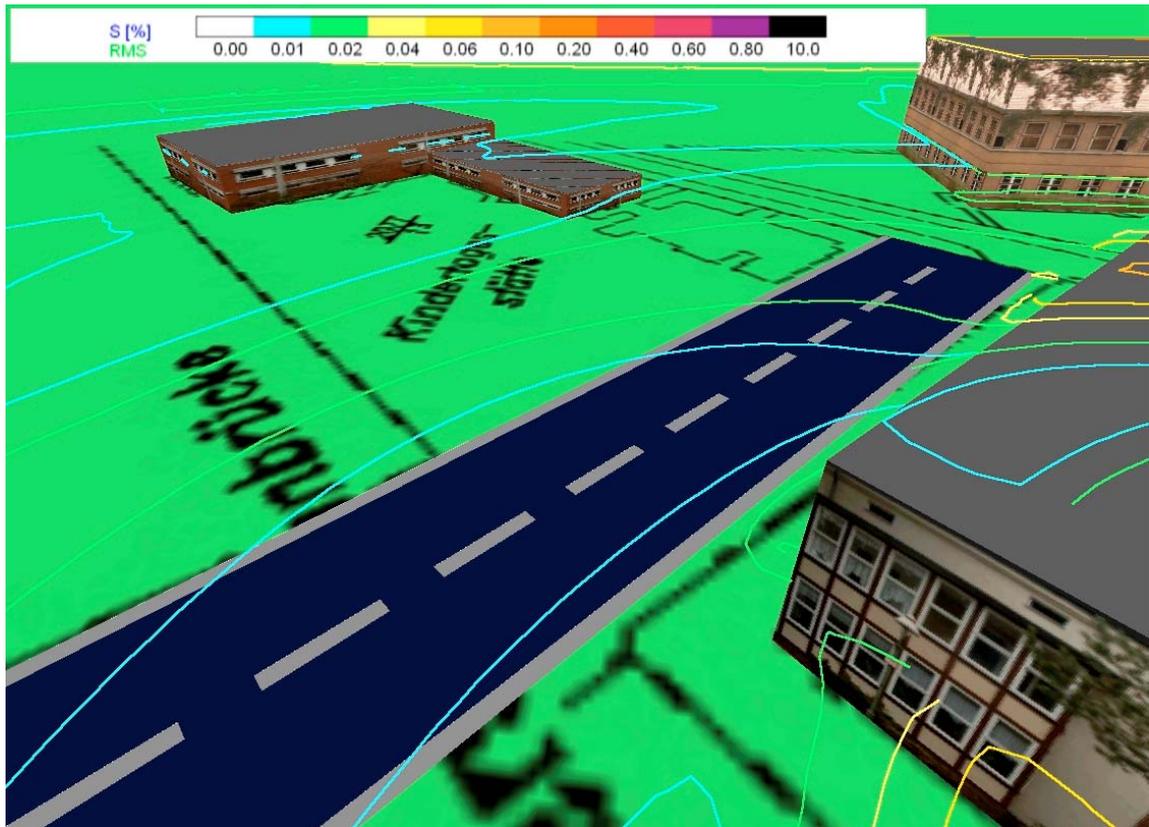


Abb. 7-8: Isolinen der Berechnungshöhe 4 m mit Focus auf die Kita.

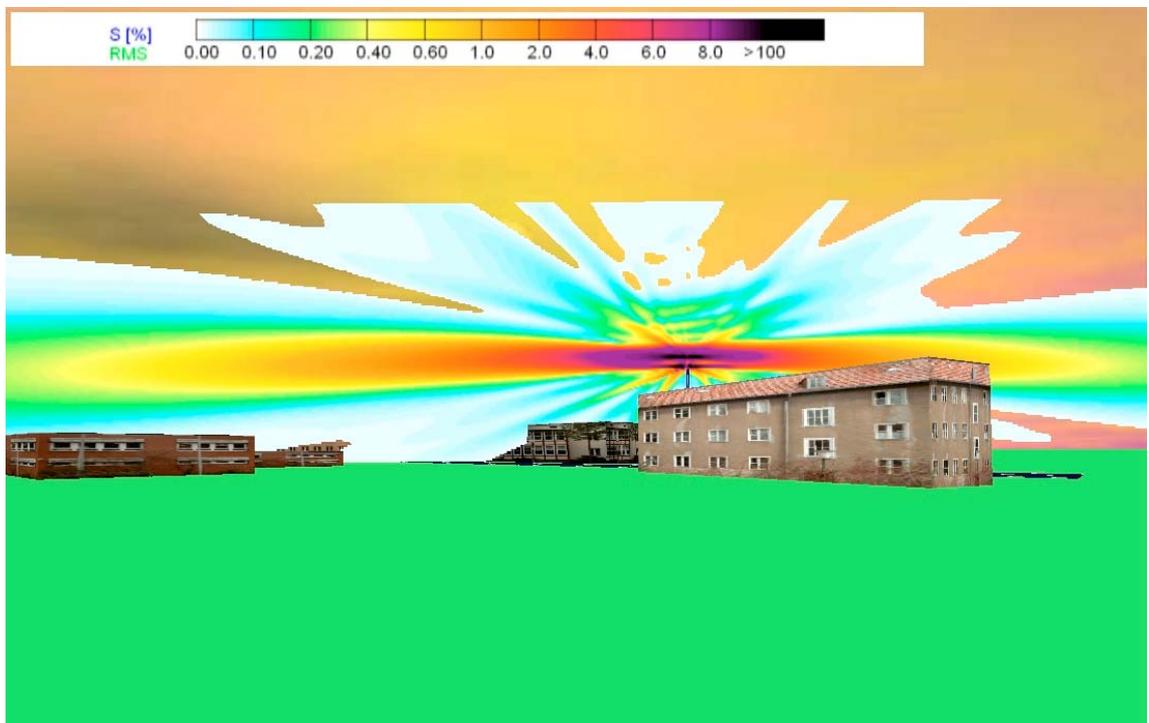


Abb. 7-9: Vertikalschnitt durch Antennenmast 1.

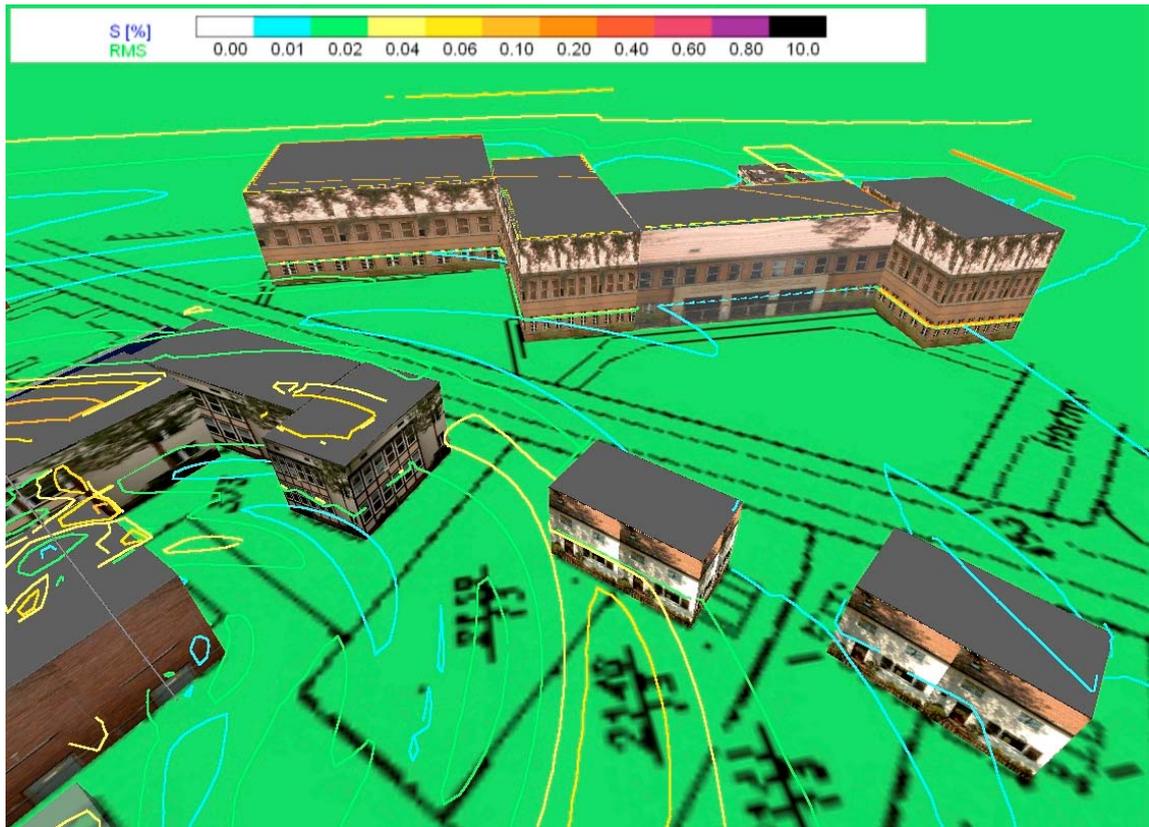


Abb. 7-10: Isolinen der Berechnungshöhe 4 m mit Focus auf die Schule.

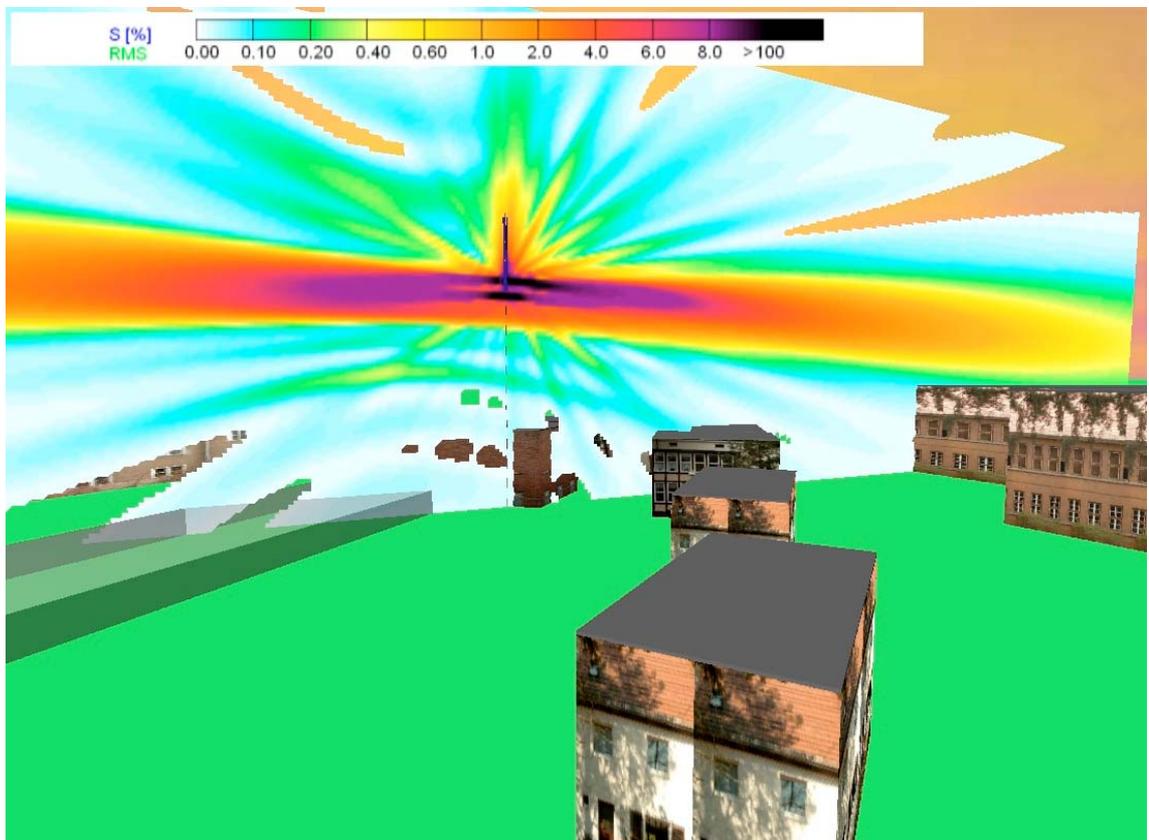


Abb. 7-11: Vertikalschnitt durch Antennenmast 2.

Der horizontale Schnitt (Abbildung 7-6) in 1 m Höhe über Grund zeigt, dass nur die zwei orangen Bereiche stärker bestrahlt werden. Das ist zum einen das zentral gelegene Technikgebäude und zum anderen die Aula der Schule am unteren Bildrand. Die übrigen weißen, blauen, grünen und gelben Flächen beschreiben Areale mit maximal 0,1 % Grenzwertausnutzung.

In Abbildung 7-7 sind Isolinien dargestellt. In der 3D-Ansicht verdeutlichen sie mit gleicher Farbgebung, wie in Abbildung 7-6, die Bestrahlungen knapp über Erdniveau. Die orangen Linien auf dem Dach des Technikgebäudes zeigen eine der zwei stärker belasteten Stellen.

An den hellblauen Linien in Abbildung 7-8 ist erkennbar, dass auch in 4 m Höhe über Grund an der Kita nur maximal 0,01 % des Grenzwertes auftreten. Das zeigt, dass auch in die Fenster des Gebäudes keine gefährliche Strahlung, welche durch Mobilfunk erzeugt wurde, eintritt.

Die Darstellung des Vertikalschnittes in Abbildung 7-9 bestätigt, dass die Hauptkeulen der Mobilfunkantennen, welche in etwa auf die Kita ausgerichtet sind, über die Kita hinweg strahlen.

Anhand der Abbildung 7-10, welche die Schule näher darstellt, verdeutlicht sich die Einstrahlung auf höhere Fenster. Bei Betrachtung der Schule bei 4 m Berechnungshöhe zeigt sich, dass die gelben Linien, welche für 0,04 % Auslastung stehen, die stärkste Belastung markieren.

Nach der Abbildung 7-11 ist anhand der kräftigen Farben darin ersichtlich, dass nur das Schuldach von der Hauptkeule gestreift wird und deshalb 0,4 % Auslastung der Grenzwerte erreicht.

Zusammenfassend gesagt: Die Kindertagesstätte und die Schule sind Strahlungswerten ausgesetzt, die selbst bei worst-case Betrachtung sehr weit unterhalb der vorgeschriebenen Grenzwerte liegen. Die weitere Umgebung ist ebenfalls gering belastet, sodass nach heutigem Stand des Wissens, keine weiteren Schutzmaßnahmen notwendig sind.

7.5 Standort 3: Machnower Straße 3

Als Resultat der Berechnungen der elektromagnetischen Felder mit der Software WinField® ergibt sich die klare Aussage, dass die betrachtete Umgebung, um die Mobilfunkbasisstation in der Machnower Straße, die vorgeschriebenen Grenzwerte klar unterschreitet.

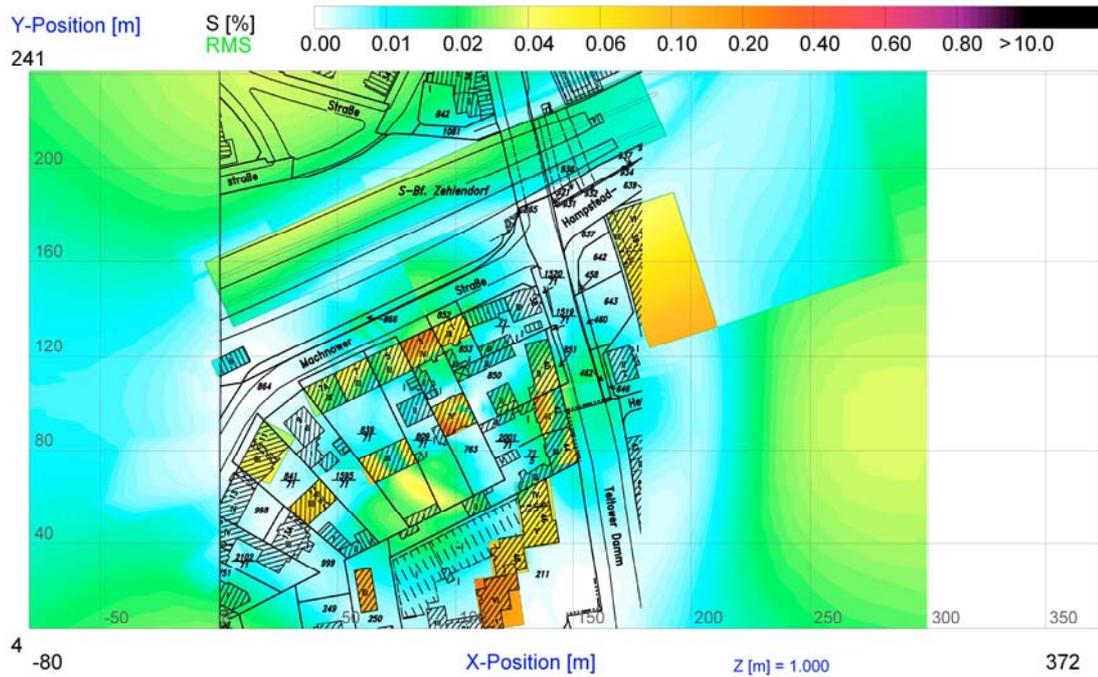
Bei Betrachtung der horizontalen Berechnungsebene in 1 m Höhe über der jeweiligen Oberfläche, beträgt die maximale Grenzwertauslastung 0,6 %. Dies tritt allerdings nur an einer kleinen Stelle in direkter Nähe der Antennen auf.

Weitere Dächer des berechneten Areals erreichen bei dieser worst-case Betrachtung eine Grenzwertauslastung von 0,4 %. Die übrigen Gebiete erfahren Bestrahlung, die zu maximal 0,1 % an die Grenzwerte heranreicht.

Der benachbarte S-Bahnhof steht ebenfalls unter keiner gefährlichen Belastung durch Mobilfunkfelder. Die dort zu erwartenden Höchstwerte liegen bei 0,04 % der zulässigen Grenzwerte.

Begründen lassen sich diese Fakten mit der Installationshöhe der Antennen und deren waagerechter Abstrahlcharakteristik. Der Antennenmast ist zwar am Giebel des Hauses angebracht, überragt von dort aber jedes Gebäude der Umgebung. Die Hauptkeulen der Antennen, in welchen der größte Leistungsanteil enthalten ist, strahlen über die Gebäude und die Bahnsteige des Bahnhofes hinweg.

Die Ursache für die maximale Grenzwertauslastung von 0,6 % an einer Stelle am Haus ist ebenfalls die Abstrahlcharakteristik der Antennen. An dieser Stelle treffen eine Hausecke und eine Nebenkeule einer Antenne zusammen. Da, wie erwähnt, die Nebenkeulen sehr schwach ausgeprägt sind, ist die Strahlung an der Dachkante trotzdem sehr gering.



KONSTRUKTION.GEO 26.05.2004 15.05.08 Richtlinie: 26. BImSchV (Bundesgesetzblatt, 20.12.1996, T. 1, Nr. 66)

Abb. 7-12 Überblick über die Berechnungsfläche in 1 m Höhe über der Oberfläche.

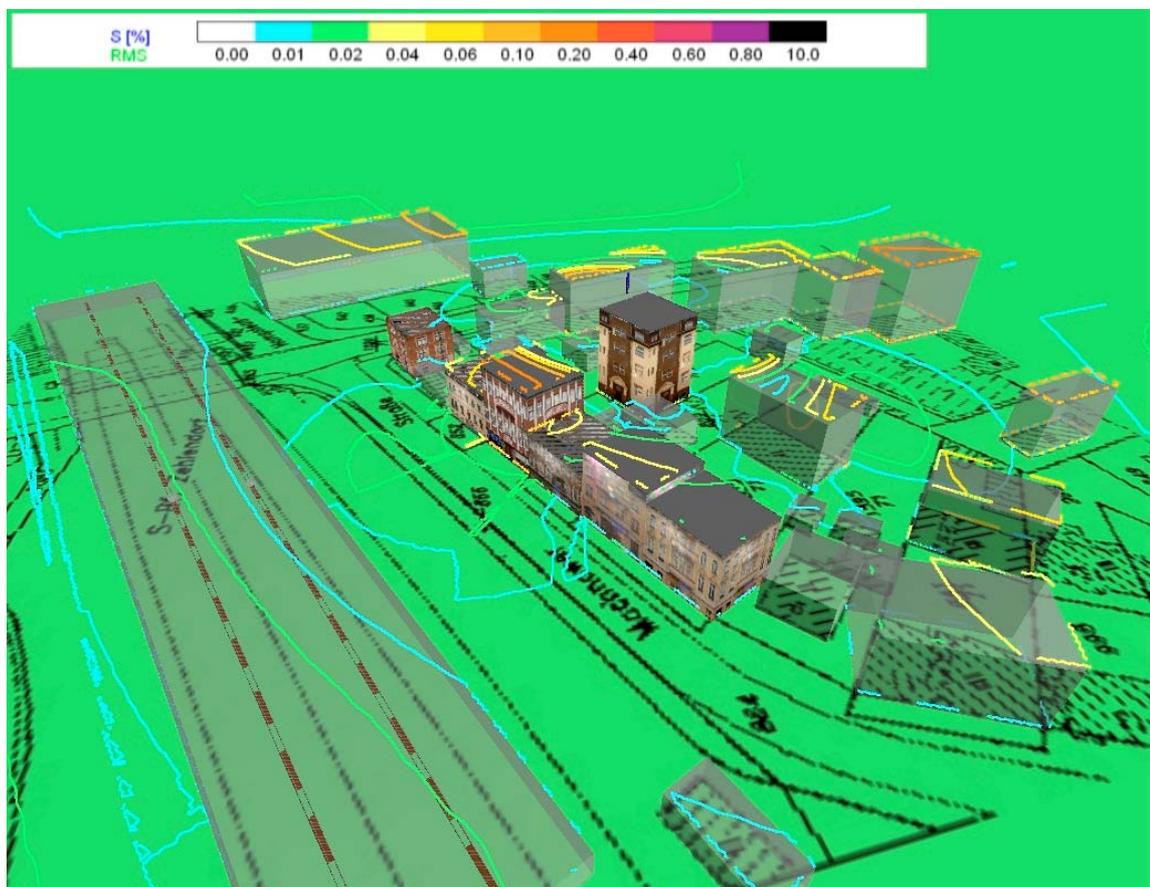


Abb. 7-13 Die 3D-Ansicht mit Isolinen des Horizontalschnittes mit Bahnhof im Vordergrund.

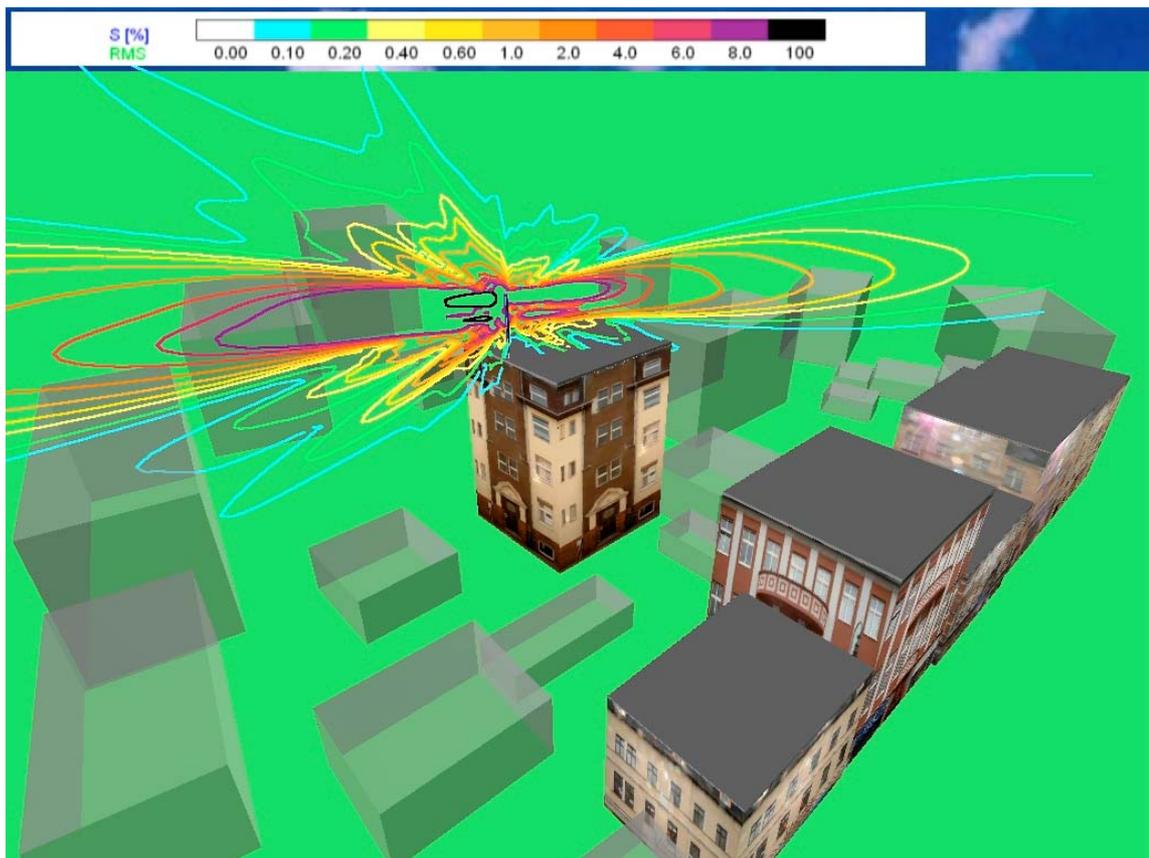


Abb. 7-14 Der XZ-Schnitt durch den Antennenträger.

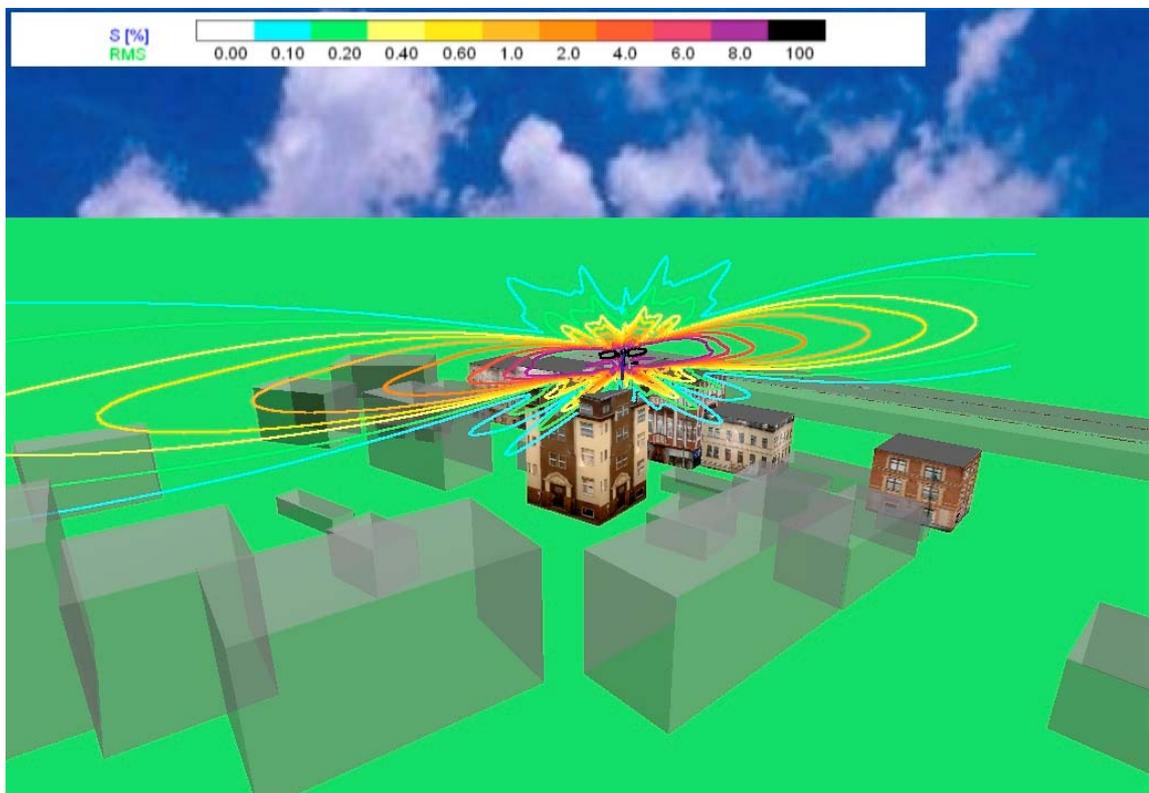


Abb. 7-15 Der YZ-Schnitt durch den Antennenträger.

Die Abbildung 7-12 zeigt einen horizontalen Schnitt der Berechnungsebene, welcher in 1 m Höhe über der jeweiligen Oberfläche vollzogen wurde. Es ist deutlich zu erkennen, dass weiße, blaue und grüne Flächen auf dem Gebiet überwiegen. Das bedeutet, dass dort die Grenzwerte zu maximal 0,04 % ausgelastet werden. Darüber hinaus ist zu bemerken, dass fast ausschließlich die hohen Dächer, welche näher an den Hauptkeulen sind, die Grenzwerte weiter, nämlich zu maximal 0,4 % auslasten. Sichtbar ist dies, durch die gelbe bis orange Färbung. Außerdem ist links unterhalb des zentralen Gebäudes, welches die Antennen trägt, die Auftrefffläche einer Nebenkeule erkennbar. Die gelbe Färbung auf dem Boden zeigt die Keule an, welche auch die Hausecke streift und deshalb an ihr die höhere Auslastung der Grenzwerte verursacht.

In der Abbildung 7-13 wird die Grenzwertauslastung auf dem Bahnhof verdeutlicht. Die grünen und blauen Isolinien zeigen an, dass in 1 m Höhe über den Bahnsteigen maximal 0,04 % der Grenzwerte erreicht werden, sollte der worst-case eintreten. Darüber hinaus ist durch die gelben Isolinien zu erkennen, dass sich die höhere Belastung fast ausschließlich auf die Dachbereiche begrenzt.

Die Abbildungen 7-14 und 7-15 zeigen jeweils Vertikalschnitte durch den Antennenmast am Giebel des Hauses. Deutlich erkennbar sind die Richtungen der Hauptkeulen und deren Ausrichtung über die benachbarten Gebäude und den Bahnhof hinweg.

Die schwarzen Linien stellen den Sicherheitsbereich dar, umfassen aber auch schon Bereiche, in welchen die Grenzwerte zu 8 % erreicht werden. Das bedeutet, dass der eigentliche Sicherheitsbereich weitaus kleiner ist. Wie damit ersichtlich ist, befindet sich der Sicherheitsbereich weit vom Haus entfernt.

Fazit: Die auf das Gebäude mit dem Antennenmast, auf die umliegenden Gebäude und auf den benachbarten Bahnhof treffende Strahlung durch die Mobilfunksendeanlage ist nach heutigem Kenntnisstand unbedenklich. Schützende Maßnahmen sind diesbezüglich nicht notwendig.

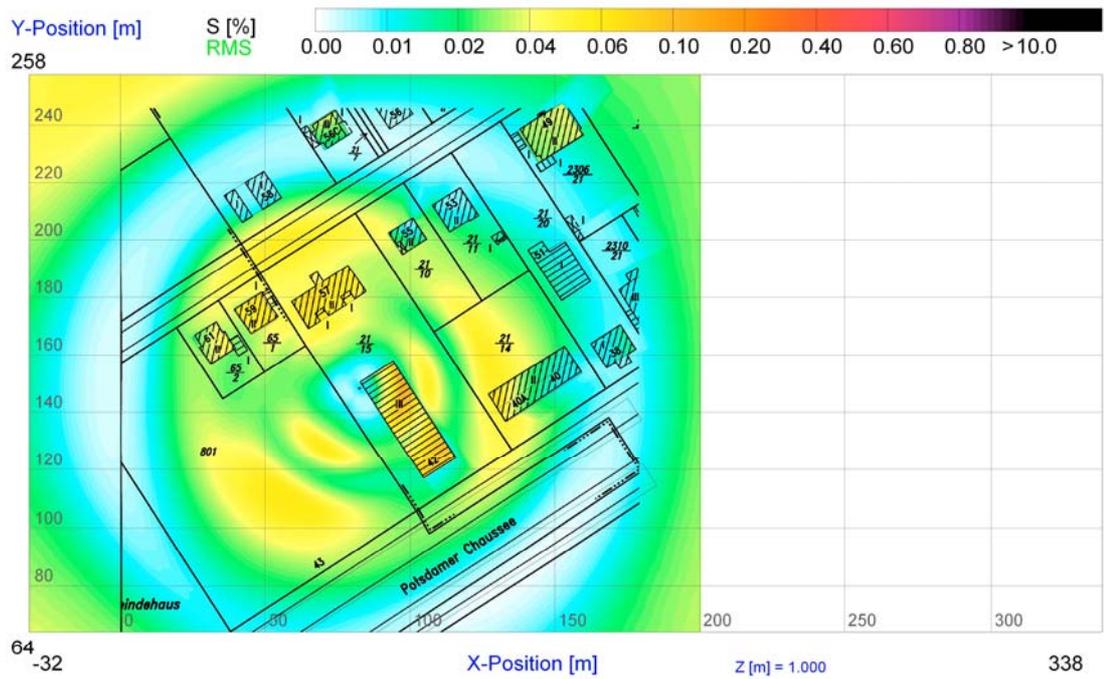
7.6 Standort 4: Potsdamer Chaussee 42

Nach der Ermittlung der prozentualen Auslastung der Grenzwerte für die Leistungsflussdichte per Berechnung mit WinField® steht folgendes Ergebnis fest. In dem berechneten Areal, um die Potsdamer Chaussee 42, treten keine höheren Werte auf, als 0,2 % der zulässigen Grenzwerte. Dieser Wert wird aber auch nur über den Dachflächen erreicht, bei Betrachtung der Höhe von 1 m über dem Erdboden beträgt der maximale Wert sogar nur 0,1 %.

Begründen lässt sich dieses Ergebnis dadurch, dass der Trägermast sehr viel höher ist, als die ihn umgebenden Gebäude. Da von den hoch angebrachten Antennen die Sendeleistung unter kleinem Winkel hauptsächlich waagrecht abgestrahlt wird, befinden sich die Gebäude weit außerhalb der Hauptkeulen des Sendemastes. Die auf den Gebäuden auftreffenden höheren Strahlungswerte begründen sich in den schwachen Nebenkeulen, welche Mobilfunkantennen eigen sind. Die höheren Dächer werden keinesfalls von einer Hauptkeule getroffen, oder treten gar in den Sicherheitsbereich ein.

Auch nach Analyse der Vertikalschnitte durch die Berechnungsebenen zeigt sich, dass trotz der enormen Anzahl von Mobilfunkantennen die Leistung größtenteils waagrecht abgestrahlt wird und die umliegenden Gebäude keine direkte Bestrahlung erfahren.

Hinzugefügt sei außerdem die Tatsache, dass auch Fahrzeuge auf der vorbeiführenden Bundesstraße keiner Gefährdung unterliegen. Die auf diesem Abschnitt einfallende Strahlung erreicht maximal 0,03 % der gesetzlichen Höchstwerte.



KONSTRUKTION.GEO 26.05.2004 12:26:10 Richtlinie: 26. BImSchV (Bundesgesetzblatt, 20.12.1996, T. 1, Nr. 66)

Abb. 7-16 Der Horizontalschnitt 1 m über Dach bzw. Boden.

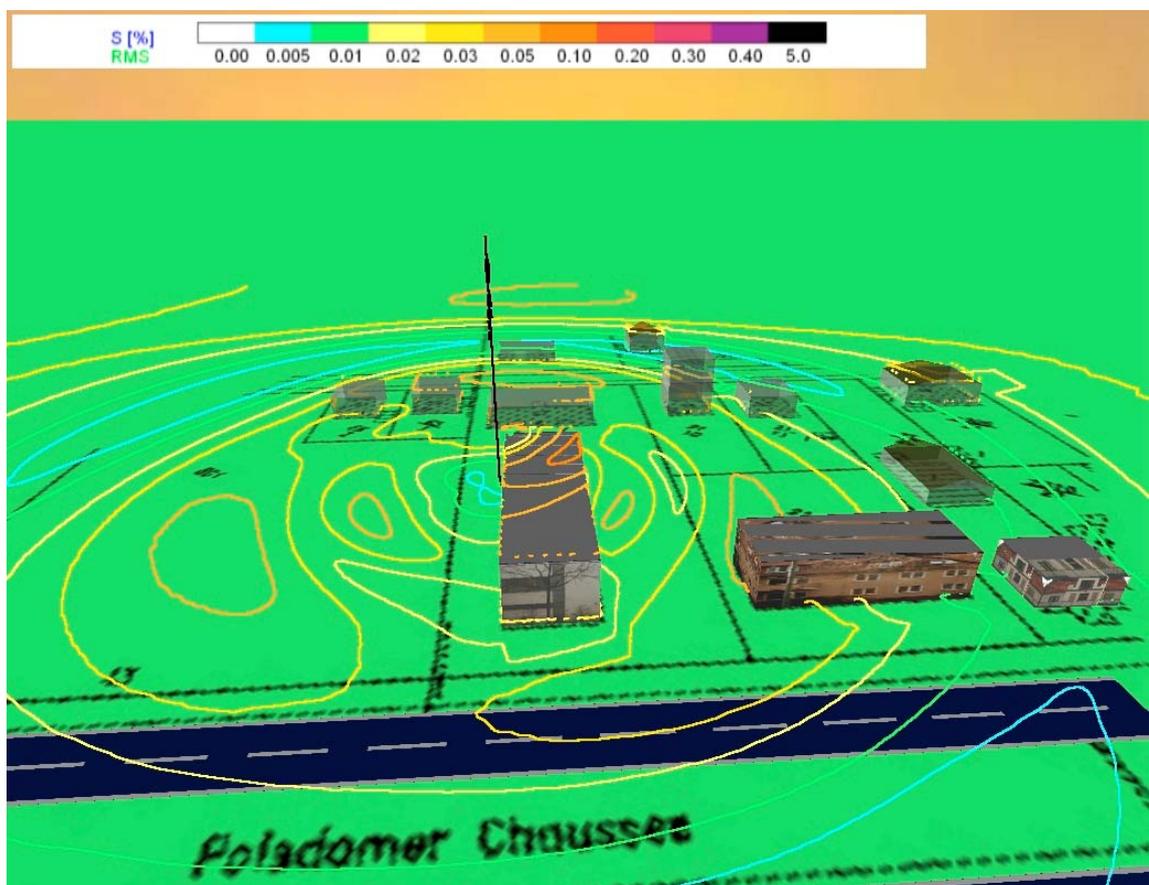


Abb. 7-17 Die 3D-Ansicht mit Isolinien des Horizontalschnittes.

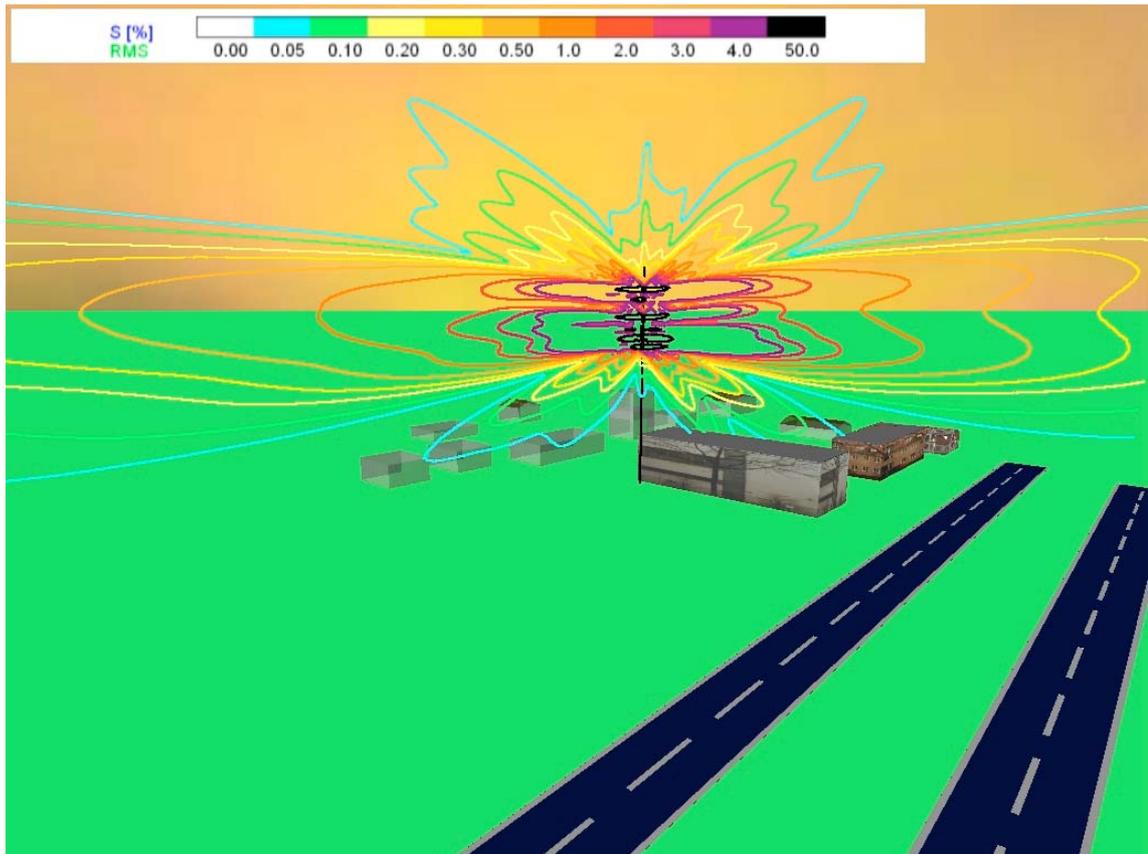


Abb. 7-18 Der XZ-Schnitt durch den Antennenmast.

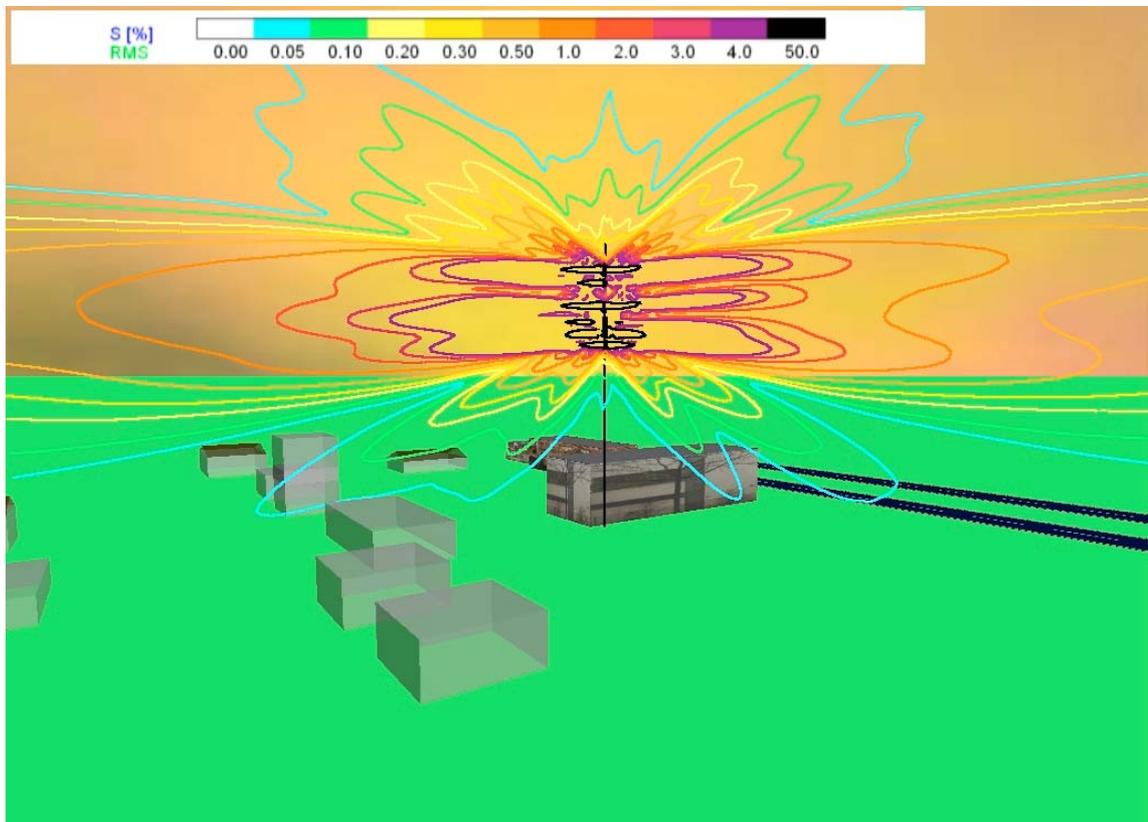


Abb. 7-19 Der YZ-Schnitt durch den Antennenmast.

In Bild 7-16 ist die jeweilige Auslastung der Grenzwerte beim Horizontalschnitt in 1 m über Dach bzw. Boden dargestellt. Das Bild zeigt, dass neben den Dächern deutlich weiße, blaue, grüne und gelbe Gebiete dominieren, was eine Grenzwertauslastung von unter 0,1 % bedeutet. Lediglich die leicht orange Färbung eröffnet die Tatsache, dass auf den höheren Dächern die Werte auch an 0,2 % der Grenzwerte heranreichen können.

Die Abbildung 7-17 bestätigt mittels Isolinien in 3D-Ansicht das vorhergehende Bild 7-16. Die roten Linien, welche für maximal 0,2 % der Grenzwerte stehen, zeigen die höhere Strahlung auf den Dächern und durch die gelben Linien (maximal 0,03 %) wird die geringe Strahlung auf der Straße verdeutlicht.

Der XZ-Schnitt durch den Antennenmast in Abbildung 7-18 verdeutlicht die Aussage, dass die Hauptkeulen über die Gebäude hinweg strahlen. Klar zu erkennen sind die schwachen Nebenkeulen nach unten.

Durch den YZ-Schnitt auf Mastebene, welchen Abbildung 7-19 zeigt, bestätigen sich die bisherigen Erkenntnisse, dass die Hauptkeulen weit über die Gebäude hinweg strahlen und nur sehr schwache Nebenkeulen nach unten gerichtet sind. Die schwarzen Linien umfassen den Sicherheitsbereich der Antennen und die Gebiete ab 50 % Grenzwertauslastung.

Ergebnis: Für die umliegenden Häuser und deren Bewohner besteht nach derzeitiger Erkenntnis kein Handlungsbedarf, in Bezug auf Schutzmaßnahmen vor Mobilfunkfeldern. Die durch die Sendeanlage auf die Umgebung einfallende Strahlung erreicht die zulässigen Grenzwerte nur zu einem Bruchteil.

7.7 Standort 5: Schloßstraße 17 „Bierpinsel“

Die Berechnungen der elektromagnetischen Felder um die Mobilfunkanlagen auf dem Bierpinsel in der Schloßstraße ergaben keine auffällig hohen Werte.

Die stark frequentierte Fußgängerzone und die Einkaufspassagen empfangen Strahlungswerte, die zu maximal 0,1 % an die zulässigen Höchstwerte heranreichen. Auf der Hochstraße, welche am Standort vorbei führt, ist maximal mit Werten zu rechnen, die nur 0,04 % des Grenzwertes erreichen.

Die hohen Dächer der Geschäftshäuser der Umgebung sind ebenfalls nur sehr geringen Strahlungen ausgesetzt. Nach der Berechnung ist erkennbar, dass dort, trotz der Betrachtung des worst-case, die zulässigen Grenzwerte nur zur maximal 0,4 % ausgelastet werden.

Auch am Fuße des Gebäudes, wo eine kleine leistungsarme Antenne installiert wurde, sind deswegen keine überhöhten Werte zu erwarten. Die Antenne versorgt nur den Bereich, welcher auch sonst nur zu 0,01 % des Grenzwertes ausgelastet ist.

Begründen lässt sich diese relativ homogene Verteilung über das Gebiet mit den Tatsachen, dass die Antennen aufgrund ihrer Richtcharakteristik waagrecht abstrahlen und in dem Gebäude einen idealen Träger besitzen. Allein durch die Höhe, welche alles Umgebende überragt, strahlen die Hauptkeulen der Antennen über die Nachbarhäuser hinweg. Daneben begünstigt die Form des Gebäudes die Verteilung in der Umgebung. Die Installation an der Dachkonstruktion sorgt dafür, dass nach unten strahlende Nebenkeulen nicht auf Gebäude treffen, sondern im freien Raum gedämpft werden. Da das Gebäude auch verhältnismäßig großen Abstand zu den Nachbargebäuden hat, werden diese nicht direkt von den Antennen bestrahlt.

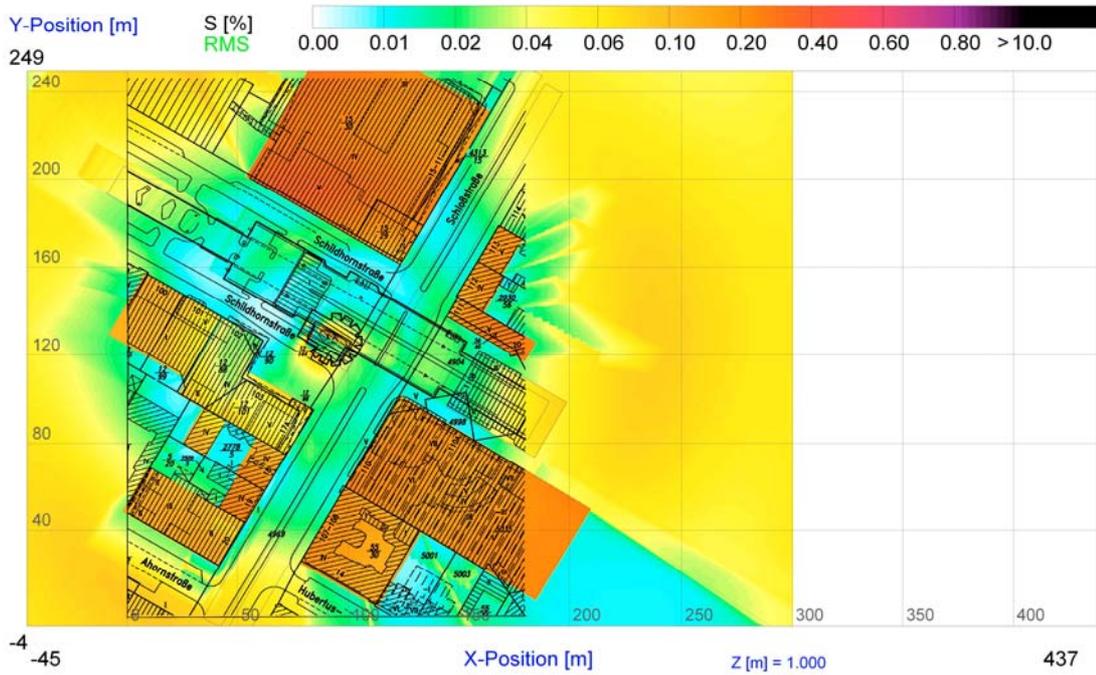


Abb. 7-20 Horizontalschnitt durch die Berechnungsebene in 1 m Höhe über der Oberfläche.

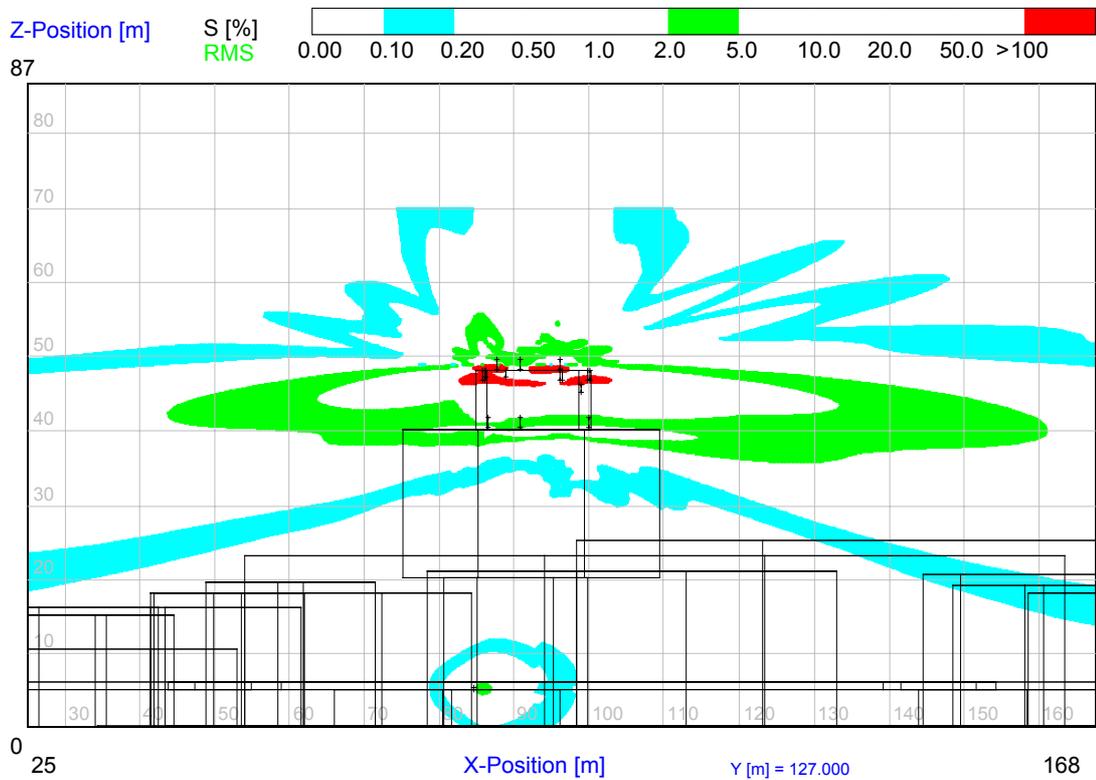


Abb. 7-21 Vertikalschnitt als 2D-Plot, mit Darstellung von 3 Ergebnisbereichen.



Abb. 7-22 3D-Blick auf die Schloßstraße.



Abb. 7-23 3D-Blick auf die Hochstraße über der Schloßstraße.

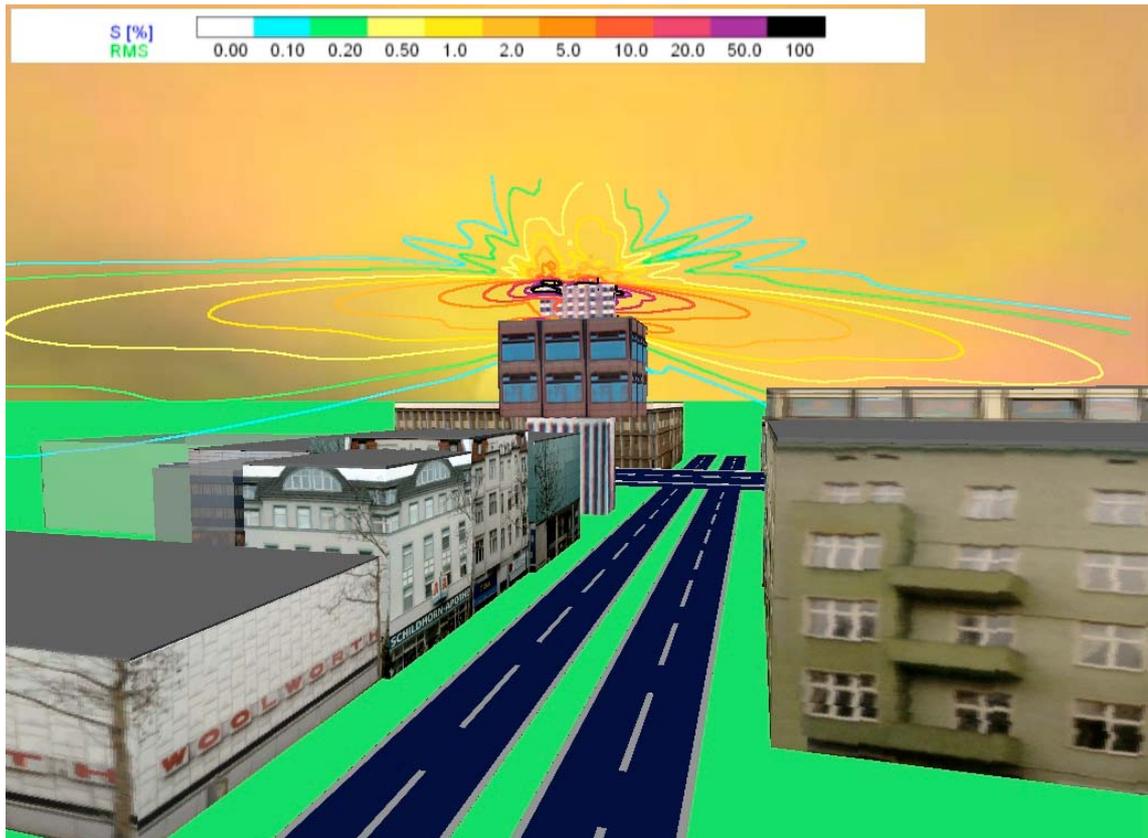


Abb. 7-24 Vertikaler Schnitt durch die XZ-Berechnungsebene.

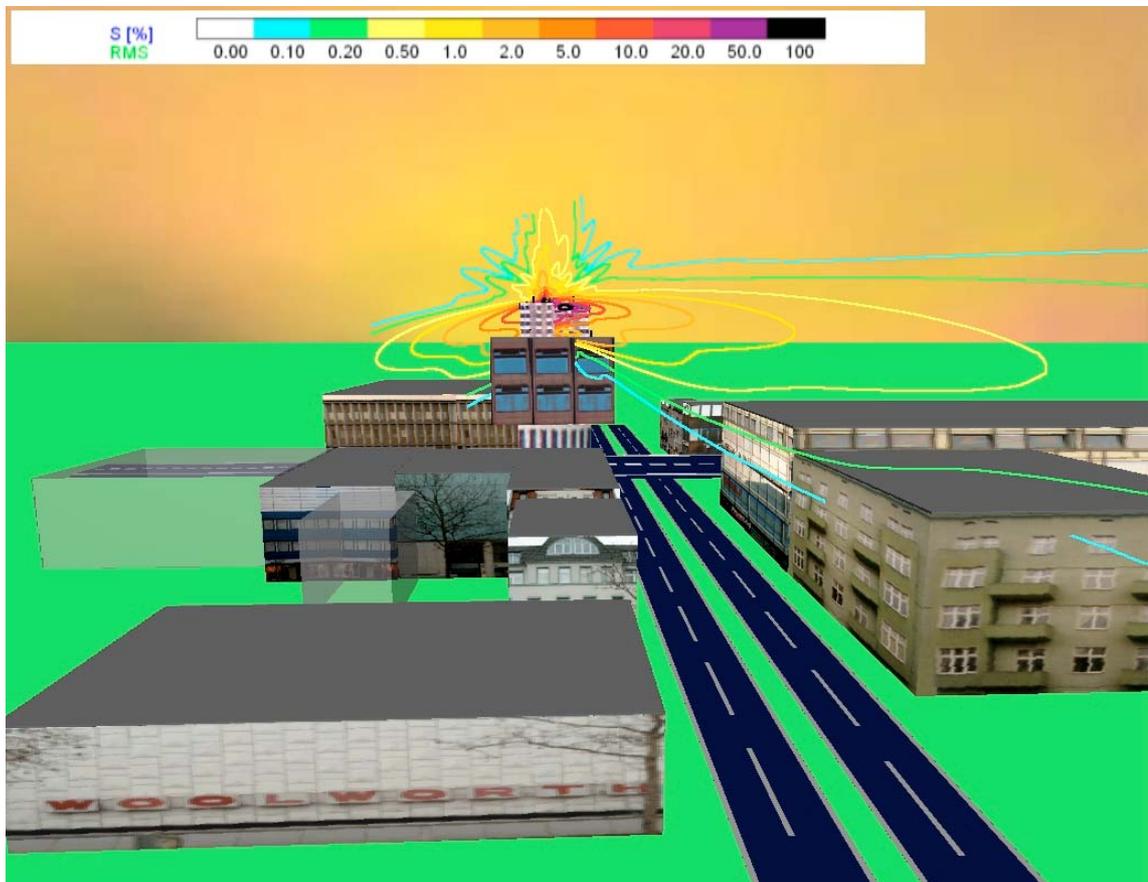


Abb. 7-25 Vertikaler Schnitt durch die YZ-Berechnungsebene.

Der Überblick über die Berechnungsfläche, den Abbildung 7-20 bietet, zeigt deutlich, dass der Bereich, welcher von Fußgängern stark frequentiert wird, minimalen Belastungen ausgesetzt ist. Die grüne und blaue Einfärbung sowie einzelne gelbe Stellen machen die maximale Grenzwertauslastung von 0,1 % deutlich.

Klar zu erkennen ist auch, dass die Dachflächen der Häuser aufgrund ihrer Nähe zu den Hauptkeulen höher belastet sind, aber mit maximal 0,6 % der Grenzwerte kein unerlaubtes Niveau erreichen. Die scheinbar stärker werdende Bestrahlung außerhalb der Karte täuscht. In der Berechnung werden die Gebäude, die sich außerhalb des Kartenausschnittes befinden nicht berücksichtigt. In der Realität verursachen diese aber eine Dämpfung.

In Abbildung 7-21 wird der Einfluss der am Fuß des Gebäudes installierten kleinen Antenne verdeutlicht. Durch die Darstellung mit lediglich 3 Farben wird gezeigt, dass sie in Ihrer näheren Umgebung Werte erzeugt, die maximal 0,2 % des Grenzwertes erreichen. Außerdem ist die Richtwirkung der Dachantennen, über die Nachbarhäuser hinweg, nachvollziehbar.

Die Abbildungen 7-22 und 7-23 zeigen nähere Ausschnitte des Horizontalschnittes in dreidimensionaler Ansicht. So verdeutlicht Bild 7-22 mit blauen, grünen und gelben Isolinien, dass in der Höhe von 1 m über dem Gehweg, die auftreffende Strahlung die Grenzwerte zu maximal 0,1 % erreicht. Das Bild 7-23 zeigt, dass auf der Hochstraße sogar nur maximal 0,04 % der Grenzwerte auftreten können.

Anhand der Abbildungen 7-24 und 7-25, welche wiederum Vertikalschnitte zeigen, verdeutlicht sich die Aussage von Abbildung 7-21. Die Hauptkeulen strahlen über die Nachbarhäuser hinweg. Nur die blauen und grünen Linien, die für eine Grenzwertauslastung von 0,1 bzw. 0,2 % stehen, treffen auf Gebäude. Die durch die schwarzen Isolinien gekennzeichneten Sicherheitsbereiche sind weit entfernt, von Orten, die Personen zugänglich sind.

Fazit: Nach dem heutigen Stand der Wissenschaft kann eine Gefährdung der Personen in der Umgebung des Standortes ausgeschlossen werden. Die maximal zu erwartende Strahlungsbelastung liegt weit unter den zulässigen Grenzwerten und bietet somit keinen Anlass Schutzmaßnahmen durchzuführen.

7.8 Auswertung

An allen berechneten Standorten besteht hinsichtlich der Grenzwerte der 26. BImSchV keine Gefährdung für die Bevölkerung.

Dabei spielt es keine Rolle, ob extra ein Tragmast für die Antennen errichtet wird, oder ein vorhandenes hohes Dach zur Installation genutzt wird. Die Strahlungsbelastung für die Umgebung ist minimal. An allen Standorten wurden die Antennen so installiert, dass sie hauptsächlich über die umliegenden Gebäude strahlen. Die Strahlungen der Hauptkeulen treffen somit keine Gebäude der Nachbarschaft.

Da die Feldstärken an den untersuchten Orten im worst-case Fall die Grenzwerte höchstens zu 1 % auslasten, sondern darunter liegen, ist von großer Sicherheit zu sprechen. Auch für den Fall, dass die Grenzwerte als zu hoch erscheinen, werden sie doch nur zu einem Bruchteil ausgereizt. Im Alltag kann davon ausgegangen werden, dass die Strahlungsbelastung durch Mobilfunkanlagen sogar noch geringer ist.

Tabelle 7-1: Höchstwerte in Prozent der Grenzwerte (26. BImSchV) bei den Berechnungen

Standort	Höchster festgestellter Wert	Höchster Wert im Fußgängerbereich	Wert an den Stellen mit besonderer Beachtung
Brentanostraße	10 %	0,1 %	10 %
Altkanzlerstraße	0,4 %	0,1 %	0,04 %
Machnower Straße	0,6 %	0,1 %	0,04 %
Potsdamer Chaussee	0,2 %	0,1 %	0,1 %
Schloßstraße	0,4 %	0,1 %	0,1 %

Auch bei Berücksichtigung der niedrigeren Grenzwerte der Schweizer NISV können die Standorte, bis auf eine Ausnahme, diese Strahlungshöchstwerte sicher unterschreiten. Beim Standort Brentanostraße wäre eine genaue Untersuchung diesbezüglich sinnvoll..

8 FORSCHUNGS- UND AUFKLÄRUNGSMABNAHMEN FÜR MOBILFUNKFELDER

In Deutschland nutzt heute fast jede Person ein Handy, denn das Leben ohne Mobilfunk ist undenkbar geworden.

Trotz aller Nachweise der Unbedenklichkeit nach heutigen Gesichtspunkten ist die Zahl der Skeptiker gegenüber den elektromagnetischen Feldern noch immer sehr hoch.

Durch die noch vorhandenen Zweifel lastet ein enormer Druck auf Behörden und Betreibern der Mobilfunknetze, welcher sogar wächst, wenn das Thema Ausbau der Netze angesprochen wird.

Aus diesem Grund sah sich der Gesetzgeber veranlasst, zusätzlich zu den Grenzwerten, weitere begleitende Vorsorgemaßnahmen zu veröffentlichen. Diese sollen sicherstellen dass:

- Bürgerinnen und Bürger möglichst geringen Intensitäten der Felder ausgesetzt sind,
- umfassende, objektive und sachliche Informationen für Bürgerinnen und Bürger verfügbar sind,
- wissenschaftliche Unsicherheiten durch gezielte und unabhängige Forschung geklärt werden.

Für die Umsetzung der Vorsorgemaßnahmen sind sowohl die Mobilfunkbetreiber, als auch die nationalen Behörden verantwortlich. Beide Parteien einigten sich auf umfassende Maßnahmen und stellten für die Jahre 2002 bis 2005 insgesamt jeweils 8,5 Mio. Euro an finanziellen Mitteln bereit [19, S.2].

Von Seiten der Mobilfunkbetreiber dient die sogenannte Selbstverpflichtung zur Umsetzung der Vorsorgemaßnahmen. Am 6. Dezember 2001 wurde die Erklärung „Maßnahmen zur Verbesserung von Sicherheit und Verbraucher-, Umwelt- und Gesundheitsschutz, Information und vertrauensbildende Maßnahmen beim

Ausbau der Mobilfunknetze“ gegenüber der Bundesregierung abgegeben. Die Verpflichtung enthält unter anderem Maßnahmen, welche die Zusammenarbeit zwischen Mobilfunkbetreibern und den Kommunen sowie die Einbindung und Information der Bürger verbessern sollen. Außerdem sind Maßnahmen zum Verbraucherschutz und Information, rund um das Thema Handy, verankert.

Die Mobilfunkbetreiber verpflichten sich in ihrer Erklärung außerdem, etwa jährlich, mit einem unabhängigen Rechenschaftsbericht über die Erfahrungen mit der Selbstverpflichtung zu informieren. So entsteht in regelmäßigen Abständen ein von unabhängigen Gutachtern verfasster Bericht, welcher die vereinbarten Maßnahmen untersucht und bewertet. Durch diese Berichte ist es möglich, die Fortschritte in der Kommunikation von Betreibern mit Kommunen und Bürgern nachzuvollziehen und die darin aufgezeigten Verbesserungsmaßnahmen zu studieren.

Besonders beachtet werden die Jahresgutachten vom Bundesministerium für Umwelt-, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Dieses hat seinerseits in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ein Programm ins Leben gerufen, welches die Umsetzung von Inhalten der Selbstverpflichtung der Mobilfunkbetreiber von Seiten der Regierung her unterstützt. Um die Fragen nach unbekanntem Wirkungen und Erkenntnissen zu beantworten, werden im Rahmen des Deutschen Mobilfunkforschungsprogrammes verschiedene Untersuchungen durchgeführt.

Unter Leitung des BfS werden verschiedene einzelne Forschungsprojekte formuliert, ausgeschrieben und an Forschungseinrichtungen vergeben. Themenschwerpunkte sind unter anderem die in Kapitel 3 angeführten strittigen Punkte und aufgeworfenen Fragen.

Mittels des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms wird ein Punkt der Vorsorgemaßnahmen erfüllt, nämlich die gezielte Klärung wissenschaftlicher Unsicherheiten.

Ein weiterer Punkt, die umfassende, sachliche und objektive Information der Bürger erfordert zuerst eine wichtige Voraussetzung. Um klare und aufschlussreiche Informationen bieten zu können, muss vorab geklärt werden, in welchen Punkten die größten Fragen und Wissensdefizite bei der Bevölkerung

herrschen. Durch Befragungen können und konnten somit gezielte Informationsprogramme entwickelt werden, welche den Ansprüchen der Vorsorgemaßnahmen genügen.

Neben einer Vielzahl von Broschüren, die von diversen Stellen und Institutionen ausgegeben werden, stellt insbesondere das Internet die Quelle für Informationen dar.

Im weltweiten Datennetz existieren heute unzählige Portale, welche von Behörden, Mobilfunkbetreibern oder Forschungsinstituten betrieben werden und oft tagesaktuell informieren. Darin kann sich der interessierte Leser über Forschungsprogramme, Forschungsergebnisse, Messergebnisse über Strahlungsbelastungen oder generell über die Funktionsweise von Mobilfunknetzen informieren. Im Anhang 10.2 ist hierzu eine Reihe von Adressen aufgeführt. [19, 20 S. 59f, 21 S.223f]

Über diese Informationsprogramme wird der Punkt - Aufklärung der Bevölkerung - realisiert. Durch die Ergebnisse des Jahresberichtes können daran Anpassungen zur besseren Umsetzung der Selbstverpflichtung durchgeführt werden.

Der letzte Punkt, die Bürger möglichst niedrigen Strahlungsintensitäten auszusetzen, ist weitaus schwieriger zu realisieren. Dazu gehört zunächst die Anpassung der gesetzlichen Grenzwerte. Sollten Forschungen ergeben, dass an dieser Stelle Veränderungen notwendig sind, müssen diese erst gesetzlich geregelt werden. Im Anschluss folgt die Umsetzung durch die Netzbetreiber.

Allerdings ist auch im Voraus, im Rahmen der begleitenden Vorsorgemaßnahmen ein Handeln der Mobilfunkbetreiber möglich. Über ausgereifte und intelligente Netzplanung sollte es möglich sein, Mobilfunkbasisstationen so zu positionieren und dimensionieren, dass der Forderung nach möglichst geringen Strahlungsintensitäten nachgegangen wird. Dazu dient nicht zuletzt moderne Simulations- und Prognosesoftware.

Zur Verringerung des Widerstandes in der Bevölkerung sind aber auch Maßnahmen möglich, die nicht direkt im Vorsorgekatalog verzeichnet sind. Bei Beschwerden gegen einen Antennenstandort ist die direkte Kommunikation

zwischen Erbauern und Beschwerdeträgern ein wichtiger Schritt. Der Einbezug der Anwohner in die Planung kann für beide Seiten zur Zufriedenheit führen. Bei der Auswahl des Standortes könnten Befürchtungen der Anwohner und Bedürfnisse des Netzes in Einklang gebracht werden. Wichtig dabei ist die direkte Aufklärung vor Ort. Diese kann nicht zuletzt mit Computersimulationen, wie zum Beispiel mit WinField[®], durchgeführt werden.

Ein anderer möglicher Punkt, ist eine psychologische Maßnahme. Indem den Anwohnern die Sicht auf die scheinbare Gefahr genommen wird, und ein augenstechender Anblick verdeckt wird, sind Anfreundungen mit dem Mobilfunk möglich. Der Antennenhersteller Kathrein bietet dazu die Möglichkeit, die Antennen dem Hintergrund anzupassen und somit unsichtbar zu gestalten. Weiterhin sind kleinere unauffälligere Antennen im Angebot.

Wie zu ersehen ist, wurde bereits sehr viel unternommen, um der Bevölkerung ein größtmöglichen Schutz vor eventueller schädlicher Hochfrequenzstrahlung zu bieten. Außerdem sind weiterhin zahlreiche Maßnahmen aktiv, welche die Erforschung und die Aufklärung rund um Mobilfunkfelder betreffen.

9 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In dieser Arbeit wurden fünf Mobilfunkanlagen mit der Software WinField[®] Telecommunication berechnet und Ihre Umgebung auf die Einhaltung der Grenzwerte der 26. BImSchV untersucht. Dabei wurde das DIN konforme Verfahren, welches die Betrachtung der Maximalauslastung voraussetzt, angewendet.

Die Berechnungen der fünf ausgewählten Berliner Standorte ergaben, dass die worst-case Betrachtungen, sämtlicher am Ort befindlicher Anlagen, die vorgeschriebenen Grenzwerte einhielten und für die untersuchten Stellen keine überhöhten Belastungen durch Mobilfunkfelder festzustellen sind.

Dabei wurden sogar schon die neuen UMTS-Netze mit maximaler Auslastung in die Berechnung einbezogen. Der reguläre Start dieser Netze erfolgte jedoch, in Großstädten wie Berlin, erst am 4. Mai 2004 durch die Betreiber T-Mobile und Vodafone D2. Die anderen Betreiber E-Plus und O2 folgen im Sommer dieses Jahres. Das bedeutet, dass eine Verbreitung und damit starke Nutzung dieses Netzes noch nicht stattgefunden hat.

Die von der RegTP vorgeschriebenen Sicherheitsabstände um die Antennen sind groß bemessen und könnten nach Erkenntnissen dieser Arbeit sogar noch größer gestaltet werden, denn sie würden auch dann doch einhaltbar sein. Eine zukünftige Arbeit wäre, die Sicherheitsabstände der installierten Antennen mit der Software genau zu bestimmen, mit den Werten der RegTP zu vergleichen und diese dann zu bewerten.

Zu den Berechnungen selbst ist zu sagen, dass die Ergebnisse einfach und innerhalb kürzester Zeit zu erhalten sind. Bei Vorlage aller nötigen Unterlagen und Daten, bietet die Software einen schnellen, komfortablen Weg zu genauen Resultaten. Allerdings sind diese Resultate eine theoretische Momentaufnahme. Hierbei wären zeitlicher Verlauf bei praxisnaher Betrachtung ein Ansatzpunkt für weitere Untersuchungen.

Auch in Zukunft, bei stärkerer Nutzung des Mobilfunks, kann davon ausgegangen werden, dass die aus dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse Gültigkeit behalten. Denn die gemachten Berechnungen gehen schon von der Maximalauslastung der Netze aus. Beim zukünftigen Ausbau der Netze ist nicht davon auszugehen, dass sich die Sendeleistungen der Antennen erhöhen werden, womit auch keine höheren Strahlungswerte zu erwarten sind.

Auch im Anbetracht, dass zum heutigen Zeitpunkt keine gesundheitlichen Schäden auf Mobilfunkfelder zurückzuführen sind und die empfohlenen Grenzwerte als sicher gelten können, wäre es interessant die vorhandenen Standorte nach Richtlinien zu beurteilen, welche noch größere Sicherheitsfaktoren beeinhalteten, wie zum Beispiel nach den Schweizer NISV Richtlinien. Sollten dabei Überschreitungen auftreten, sollte untersucht werden, wie diese zu beheben sind.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die für Deutschland geltenden Normen und Richtlinien an den untersuchten Standorten eingehalten werden. Anhand gezeigter Diskussionen besteht derzeit ohnehin keine nachweisbare Gefährdung durch die Mobilfunkfelder. Trotzdem laufen viele Projekte zur Erforschung und Untersuchung der elektromagnetischen Wellen und Felder. Dazu begleiten intelligente und zukunftsorientierte Netzplanung die Entwicklung des Mobilfunks sowie fließen neue Erkenntnisse in den Ausbau der Netze ein.

10 ANHANG

10.1 Verifizierung der Berechnungsergebnisse zu Kapitel 5.5

10.1.1 Verwendete Antenne

Multi-band F-Panel

1710–2170

Dual Polarization

X

KATHREIN

Antennen · Electronic

Half-power Beam Width

65°

Adjust. Electrical Downtilt

0°–8°

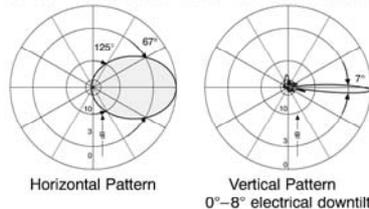
set by hand or by optional RCU (remote control unit)

XPol F-Panel 1710–2170 65° 18dBi 0°–8°T

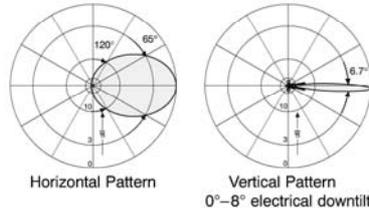
Type No.	742 212		
Frequency range	1710 – 1880 MHz	1850 – 1990 MHz	1920 – 2170 MHz
Polarization	+45°, –45°	+45°, –45°	+45°, –45°
Gain	2 x 17.5 dBi	2 x 17.7 dBi	2 x 18 dBi
Half-power beam width Copolar +45°/–45°	Horizontal: 67° Vertical: 7°	Horizontal: 65° Vertical: 6.7°	Horizontal: 63° Vertical: 6.5°
Electrical tilt continuously adjustable	0°–8°	0°–8°	0°–8°
Sidelobe suppression for first sidelobe above horizon	0° ... 2° ... 5° ... 8°T 17 ... 17 ... 15 ... 15 dB	0° ... 2° ... 5° ... 8°T 20 ... 20 ... 18 ... 18 dB	0° ... 2° ... 5° ... 8°T 20 ... 20 ... 18 ... 16 dB
Front-to-back ratio (180° ± 30°)	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB
Cross polar ratio Maindirection Sector	0° ±60° Typically: 25 dB > 10 dB	Typically: 25 dB > 10 dB	Typically: 25 dB > 10 dB
Isolation, between ports	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB
Impedance	50 Ω	50 Ω	50 Ω
VSWR	< 1.5	< 1.5	< 1.5
Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier)	< –150 dBc		
Max. power per input	300 W (at 50 °C ambient temperature)		



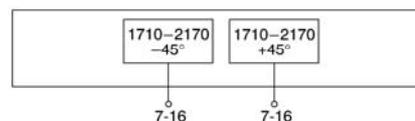
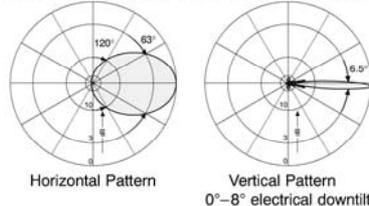
1710 – 1880 MHz: +45°/–45° Polarization



1850 – 1990 MHz: +45°/–45° Polarization



1920 – 2170 MHz: +45°/–45° Polarization



Mechanical specifications	
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Bottom
Adjustment mechanism	1x, Position bottom continuously adjustable
Weight	7.5 kg
Wind load	Frontal: 130 N (at 150 km/h) Lateral: 110 N (at 150 km/h) Rearside: 310 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Packing size	1574 x 172 x 92 mm
Height/width/depth	1302 / 155 / 69 mm

Mounting accessories are not included in the scope of delivery (see page 165 – 175)

For more information about downtilt adjustment and preparation for Remote Control Unit (RCU) refer to page 158

68

Abb. 10-1: Datenblatt der verwendeten Kathrein Antenne – 742212 [4]

10.1.2 Einstellungen bei WinField®

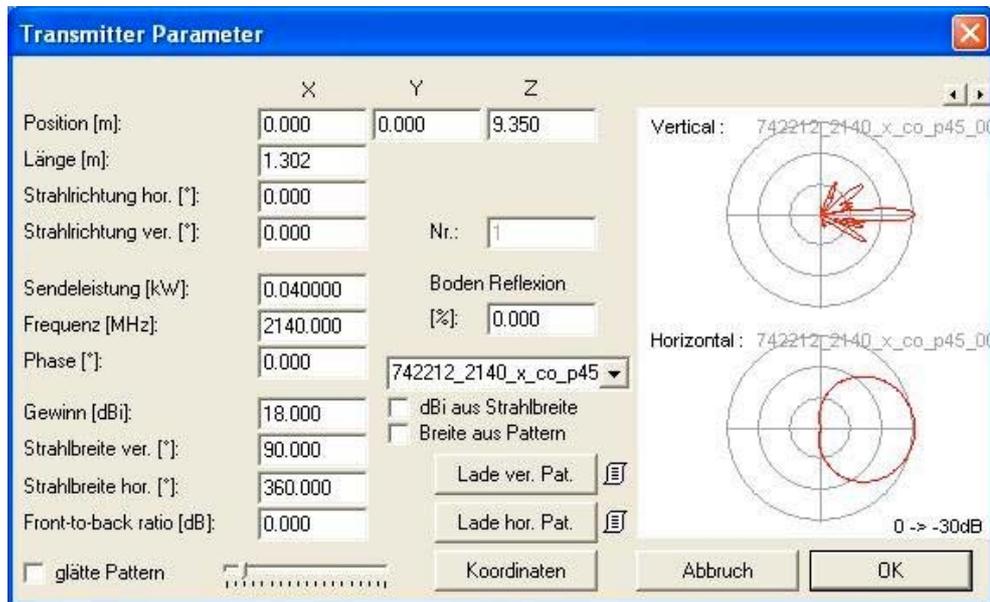


Abb. 10-2: Einstellungen für die untersuchte Kathrein-Antenne

10.1.3 Ergebnisse bei WinField®

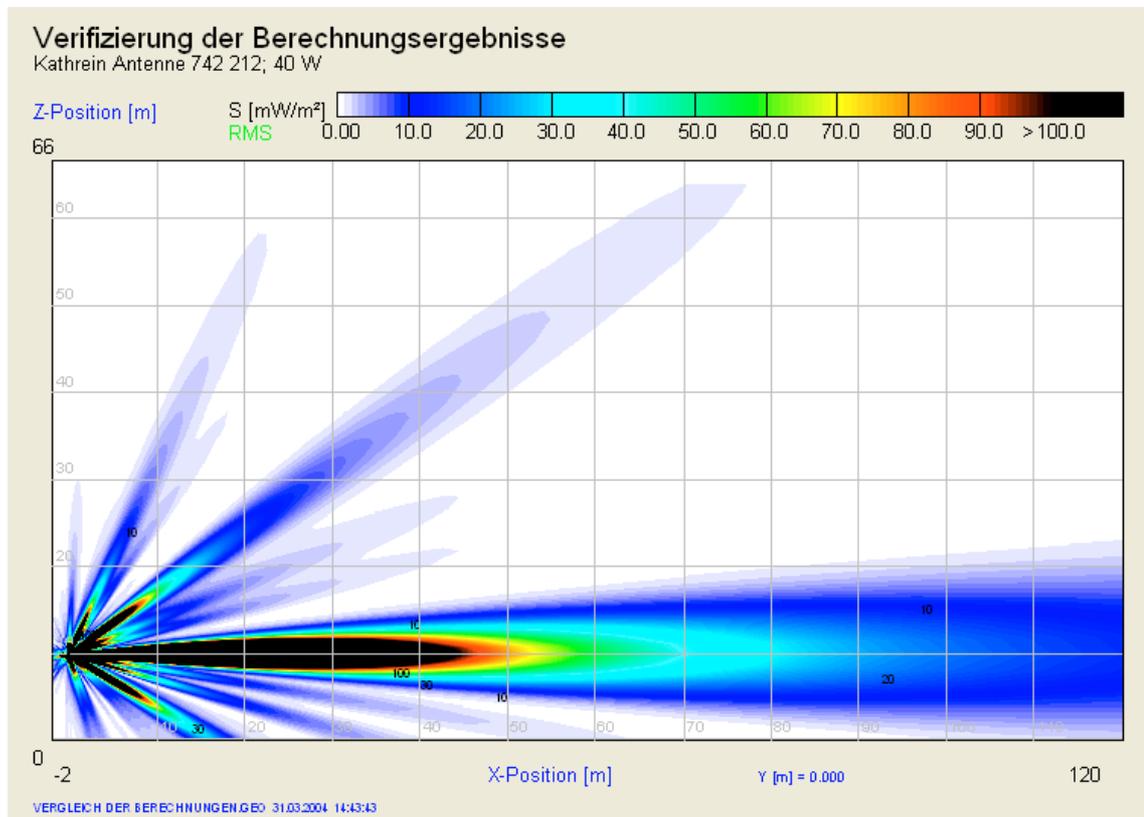


Abb. 10-3: Berechnungsergebnis bei WinField®

10.1.4 Ergebnisse von WinField® im Vergleich zu MS Excel™

Abstand r in m	Leistungsflussdichte S in W/m ² nach WinField	Leistungsflussdichte S in W/m ² nach DIN	Fehler in %
0,5	803,360062500	803,359842033	0,0000274
1	200,840015630	200,839960508	0,0000274
1,5	89,262218750	89,262204670	0,0000158
2	50,210003906	50,209990127	0,0000274
2,5	32,134398438	32,134393681	0,0000148
3	22,315554688	22,315551168	0,0000158
3,5	16,395103516	16,395098817	0,0000287
4	12,552500977	12,552497532	0,0000274
4,5	9,918025391	9,918022741	0,0000267
5	8,033599609	8,033598420	0,0000148
5,5	6,639338867	6,639337537	0,0000200
6	5,578888672	5,578887792	0,0000158
6,5	4,753609863	4,753608533	0,0000280
7	4,098775879	4,098774704	0,0000287
7,5	3,570489014	3,570488187	0,0000232
8	3,138125244	3,138124383	0,0000274
8,5	2,779792480	2,779791841	0,0000230
9	2,479506348	2,479505685	0,0000267
9,5	2,225374023	2,225373524	0,0000224
10	2,008399902	2,008399605	0,0000148
10,5	1,821678101	1,821677646	0,0000250
11	1,659834717	1,659834384	0,0000200
11,5	1,518638916	1,518638643	0,0000180
12	1,394722168	1,394721948	0,0000158
12,5	1,285376099	1,285375747	0,0000274
13	1,188402466	1,188402133	0,0000280
13,5	1,102002686	1,102002527	0,0000144
14	1,024693970	1,024693676	0,0000287
14,5	0,955243774	0,955243570	0,0000214
15	0,892622253	0,892622047	0,0000231
15,5	0,835962585	0,835962375	0,0000252
16	0,784531311	0,784531096	0,0000274
16,5	0,737704346	0,737704171	0,0000237
17	0,694948120	0,694947960	0,0000230
17,5	0,655804077	0,655803953	0,0000190
18	0,619876587	0,619876421	0,0000267
18,5	0,586822510	0,586822383	0,0000217
19	0,556343506	0,556343381	0,0000225
19,5	0,528178894	0,528178726	0,0000318
20	0,502099976	0,502099901	0,0000149
20,5	0,477906006	0,477905914	0,0000192
21	0,455419525	0,455419412	0,0000249
21,5	0,434483521	0,434483419	0,0000234
22	0,414958679	0,414958596	0,0000200
22,5	0,396721008	0,396720910	0,0000248
23	0,379659729	0,379659661	0,0000180
23,5	0,363675903	0,363675800	0,0000283

Abstand r in m	Leistungsflussdichte S in W/m ² nach WinField	Leistungsflussdichte S in W/m ² nach DIN	Fehler in %
24	0,348680542	0,348680487	0,0000158
24,5	0,334593933	0,334593853	0,0000238
25	0,321344025	0,321343937	0,0000274
25,5	0,308865845	0,308865760	0,0000275
26	0,297100616	0,297100533	0,0000278
26,5	0,285995026	0,285994960	0,0000232
27	0,275500671	0,275500632	0,0000143
27,5	0,265573547	0,265573501	0,0000171
28	0,256173492	0,256173419	0,0000285
28,5	0,247263779	0,247263725	0,0000219
29	0,238810944	0,238810892	0,0000216
29,5	0,230784271	0,230784212	0,0000256
30	0,223155563	0,223155512	0,0000230
30,5	0,215898956	0,215898909	0,0000216
31	0,208990646	0,208990594	0,0000250
31,5	0,202408676	0,202408627	0,0000240
32	0,196132828	0,196132774	0,0000276
32,5	0,190144394	0,190144341	0,0000277
33	0,184426086	0,184426043	0,0000235
33,5	0,178961914	0,178961872	0,0000236
34	0,173737030	0,173736990	0,0000230
34,5	0,168737671	0,168737627	0,0000261
35	0,163951019	0,163950988	0,0000188
35,5	0,159365204	0,159365174	0,0000188
36	0,154969147	0,154969105	0,0000269
36,5	0,150752487	0,150752457	0,0000201
37	0,146705627	0,146705596	0,0000213
37,5	0,142819550	0,142819527	0,0000158
38	0,139085876	0,139085845	0,0000221
38,5	0,135496719	0,135496684	0,0000255
39	0,132044724	0,132044681	0,0000322
39,5	0,128722961	0,128722936	0,0000196
40	0,125524994	0,125524975	0,0000149
40,5	0,122444756	0,122444725	0,0000252
41	0,119476501	0,119476479	0,0000188
41,5	0,116614899	0,116614870	0,0000245
42	0,113854881	0,113854853	0,0000247
42,5	0,111191696	0,111191674	0,0000201
43	0,108620880	0,108620855	0,0000232
43,5	0,106138199	0,106138174	0,0000232
44	0,103739670	0,103739649	0,0000202
44,5	0,101421539	0,101421518	0,0000210
45	0,099180252	0,099180227	0,0000248
45,5	0,097012436	0,097012419	0,0000175
46	0,094914932	0,094914915	0,0000177
46,5	0,092884727	0,092884708	0,0000201
47	0,090918976	0,090918950	0,0000286
47,5	0,089014961	0,089014941	0,0000225
48	0,087170135	0,087170122	0,0000152

Abstand r in m	Leistungsflussdichte S in W/m ² nach WinField	Leistungsflussdichte S in W/m ² nach DIN	Fehler in %
48,5	0,085382080	0,085382064	0,0000185
49	0,083648483	0,083648463	0,0000235
49,5	0,081967148	0,081967130	0,0000218
50	0,080336006	0,080335984	0,0000271
50,5	0,078753067	0,078753048	0,0000242
51	0,077216461	0,077216440	0,0000272
51,5	0,075724388	0,075724370	0,0000237
52	0,074275154	0,074275133	0,0000278
52,5	0,072867126	0,072867106	0,0000276
53	0,071498756	0,071498740	0,0000225
53,5	0,070168579	0,070168560	0,0000273
54	0,068875168	0,068875158	0,0000146
54,5	0,067617210	0,067617191	0,0000286
55	0,066393387	0,066393375	0,0000175
55,5	0,065202507	0,065202487	0,0000307
56	0,064043373	0,064043355	0,0000285
56,5	0,062914871	0,062914860	0,0000181
57	0,061815945	0,061815931	0,0000223
57,5	0,060745560	0,060745546	0,0000235
58	0,059702736	0,059702723	0,0000216
58,5	0,058686539	0,058686525	0,0000237
59	0,057696068	0,057696053	0,0000260
59,5	0,056730461	0,056730446	0,0000269
60	0,055788891	0,055788878	0,0000234
60,5	0,054870571	0,054870558	0,0000234
61	0,053974739	0,053974727	0,0000216
61,5	0,053100666	0,053100657	0,0000167
62	0,052247662	0,052247648	0,0000260
62,5	0,051415043	0,051415030	0,0000255
63	0,050602169	0,050602157	0,0000240
63,5	0,049808422	0,049808410	0,0000244
64	0,049033207	0,049033193	0,0000276
64,5	0,048275948	0,048275935	0,0000260
65	0,047536098	0,047536085	0,0000267
65,5	0,046813122	0,046813114	0,0000180
66	0,046106522	0,046106511	0,0000246
66,5	0,045415798	0,045415786	0,0000260
67	0,044740479	0,044740468	0,0000248
67,5	0,044080112	0,044080101	0,0000248
68	0,043434258	0,043434248	0,0000241
68,5	0,042802494	0,042802485	0,0000209
69	0,042184418	0,042184407	0,0000267
69,5	0,041579632	0,041579620	0,0000284
70	0,040987755	0,040987747	0,0000194
70,5	0,040408432	0,040408422	0,0000242
71	0,039841301	0,039841293	0,0000188
71,5	0,039286030	0,039286021	0,0000231
72	0,038742287	0,038742276	0,0000275
72,5	0,038209751	0,038209743	0,0000215

Abstand r in m	Leistungsflussdichte S in W/m ² nach WinField	Leistungsflussdichte S in W/m ² nach DIN	Fehler in %
73	0,037688122	0,037688114	0,0000207
73,5	0,037177105	0,037177095	0,0000274
74	0,036676407	0,036676399	0,0000220
74,5	0,036185760	0,036185750	0,0000269
75	0,035704887	0,035704882	0,0000144
75,5	0,035233543	0,035233535	0,0000214
76	0,034771469	0,034771461	0,0000221
76,5	0,034318424	0,034318418	0,0000181
77	0,033874180	0,033874171	0,0000262
77,5	0,033438503	0,033438495	0,0000240
78	0,033011181	0,033011170	0,0000322
78,5	0,032591991	0,032591985	0,0000179
79	0,032180740	0,032180734	0,0000188
79,5	0,031777225	0,031777218	0,0000228
80	0,031381248	0,031381244	0,0000133
80,5	0,030992632	0,030992625	0,0000214
81	0,030611189	0,030611181	0,0000252
81,5	0,030236744	0,030236736	0,0000261
82	0,029869125	0,029869120	0,0000179
82,5	0,029508173	0,029508167	0,0000209
83	0,029153725	0,029153718	0,0000254
83,5	0,028805622	0,028805617	0,0000187
84	0,028463720	0,028463713	0,0000238
84,5	0,028127869	0,028127861	0,0000279
85	0,027797924	0,027797918	0,0000201
85,5	0,027473753	0,027473747	0,0000211
86	0,027155220	0,027155214	0,0000232
86,5	0,026842194	0,026842188	0,0000227
87	0,026534550	0,026534544	0,0000241
87,5	0,026232164	0,026232158	0,0000225
88	0,025934917	0,025934912	0,0000183
88,5	0,025642696	0,025642690	0,0000225
89	0,025355385	0,025355379	0,0000219
89,5	0,025072876	0,025072870	0,0000221
90	0,024795063	0,024795057	0,0000248
90,5	0,024521841	0,024521835	0,0000238
91	0,024253109	0,024253105	0,0000175
91,5	0,023988773	0,023988768	0,0000220
92,5	0,023472902	0,023472895	0,0000285
93	0,023221182	0,023221177	0,0000212
93,5	0,022973492	0,022973486	0,0000249
94	0,022729744	0,022729737	0,0000286
94,5	0,022489853	0,022489847	0,0000245
95	0,022253740	0,022253735	0,0000214
95,5	0,022021328	0,022021322	0,0000280
96	0,021792534	0,021792530	0,0000163
96,5	0,021567291	0,021567286	0,0000225
97	0,021345520	0,021345516	0,0000185
97,5	0,021127153	0,021127149	0,0000188

Abstand r in m	Leistungsflussdichte S in W/m ² nach WinField	Leistungsflussdichte S in W/m ² nach DIN	Fehler in %
98	0,020912121	0,020912116	0,0000247
98,5	0,020700354	0,020700349	0,0000244
99	0,020491787	0,020491783	0,0000218
99,5	0,020286358	0,020286352	0,0000275
100	0,020084002	0,020083996	0,0000296
100,5	0,019884657	0,019884652	0,0000231
101	0,019688267	0,019688262	0,0000255
101,5	0,019494772	0,019494767	0,0000271
102	0,019304115	0,019304110	0,0000259
102,5	0,019116241	0,019116237	0,0000232
103	0,018931097	0,018931093	0,0000237
103,5	0,018748631	0,018748625	0,0000308
104	0,018568789	0,018568783	0,0000305
104,5	0,018391521	0,018391517	0,0000232
105	0,018216782	0,018216776	0,0000304
105,5	0,018044518	0,018044515	0,0000179
106	0,017874689	0,017874685	0,0000225
106,5	0,017707245	0,017707242	0,0000195
107	0,017542145	0,017542140	0,0000287
107,5	0,017379341	0,017379337	0,0000244
108	0,017218792	0,017218789	0,0000146
108,5	0,017060461	0,017060457	0,0000256
109	0,016904303	0,016904298	0,0000316
109,5	0,016750277	0,016750273	0,0000240
110	0,016598347	0,016598344	0,0000190
110,5	0,016448475	0,016448472	0,0000156
111	0,016300627	0,016300622	0,0000322
111,5	0,016154758	0,016154756	0,0000148
112	0,016010843	0,016010839	0,0000269
112,5	0,015868841	0,015868836	0,0000291
113	0,015728718	0,015728715	0,0000197
113,5	0,015590446	0,015590441	0,0000311
114,5	0,015319312	0,015319308	0,0000247
115	0,015186390	0,015186386	0,0000235
115,5	0,015055191	0,015055187	0,0000255
116	0,014925684	0,014925681	0,0000216
116,5	0,014797841	0,014797838	0,0000184
117	0,014671635	0,014671631	0,0000254
117,5	0,014547035	0,014547032	0,0000206
118	0,014424017	0,014424013	0,0000260
119	0,014182615	0,014182611	0,0000251
119,5	0,014064179	0,014064177	0,0000158
120	0,013947223	0,013947219	0,0000252

Mittlerer Fehler: 0,0000231

Formel in MS Excel™ : $=(40*10^{(18/10)})/(4*PI()*A^2)$

Dabei ist:

- 40 Sendeleistung P
- 18 Antennengewinn Gi
- A Radius r

10.2 Adressen zu Internetportalen

Auszug aus einer Vielzahl von Adressen, nach [19, 20]

Betreiber des Portals

[Adresse der Seite](#)

Bundesamt für Strahlenschutz

<http://www.bfs.de/elektro/hff>

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)

<http://www.mobilfunk-information.de>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

<http://www.bmu.de>

Deutsches Mobilfunkforschungsprogramm

<http://www.emf-forschungsprogramm.de>

Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP)

<http://www.emf.regtp.de>

Bayrisches Staatsministerium

<http://www.umweltministerium.bayern.de/bereiche>

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen

<http://www.femu.de>

Programmgruppe „Mensch Umwelt Technik“ (MUT) des Forschungszentrum Jülich

<http://www.emf-risiko.de>

Institut für sozial-ökologische Forschung & Bildung GmbH

<http://www.ecolo-institut.de>

nova-institut Hürth

<http://www.nova-institut.de>

Öko-Institut Freiburg, Darmstadt, Berlin

<http://www.oeko-institut.de>

Informationszentrum Mobilfunk e.V. der deutschen Mobilfunkbetreiber

<http://www.izmf.de>

Mobile Manufacturer Forum vom Internationalen Verband der
Mobilfunkgerätehersteller (Interessenverband)

<http://www.mmfa.org>

Dachverband der Bürger und Initiativen zum Schutz vor Elektrosmog
„Bürgerwelle e.V.“

<http://www.buergerwelle.de>

Ralf Wölfle, privater Experte

<http://www.ralf-woefle.de>

Forschungstiftung Mobilkommunikation an der ETH Zürich

<http://www.mobile-research.ethz.ch>

Forum Mobilkommunikation (Österreich)

<http://www.fmk.at>

Land Salzburg

<http://www.salzburg.gv.at>

World Health Organisation

<http://www.who.int/peh-emf/en/>

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Conrads, Dieter: *Telekommunikation*; 4.Auflage, Vieweg-Verlag, Braunschweig / Wiesbaden 2001

- [2] Duque-Antón, Manuel: *Mobilfunknetze*; 1.Auflage, Vieweg-Verlag, Braunschweig / Wiesbaden 2002

- [3] Funk, Bettina; Diplomarbeit: *EMVU-Messungen an Mobilfunkanlagen*; Bingen am Rhein 2003

- [4] o.V. Kundenkatalog; *KATHREIN-Mobilfunkantennen*; Version 6 Edition 03/02; Fa. Kathrein

- [5] Freyer, Ulrich: *Antennentechnik für Funkpraktiker*; Franzis Verlag, Poing 2000

- [6] Geißler, Rainer; Kammerloher, Werner; Schneider, Hans Werner: *Berechnungs- und Entwurfsverfahren der Hochfrequenztechnik 2*; Vieweg-Verlag, Braunschweig / Wiesbaden 1994

- [7] Pauli, Peter; Moldan, Dietrich: *Mobilfunk – Schirmung elektromagnetischer Wellen um persönlichen Umfeld*; Bayrisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 2003

- [8] Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission - Band 22: *Schutz vor elektromagnetischer Strahlung beim Mobilfunk*; Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-Jena-New York 1992

- [9] Otto, Matthias; von Mühlendahl, Karl Ernst: *Mobilfunk und Gesundheit*; Informationszentrum Mobilfunk e.V., Berlin 2003

-
- [10] *26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes* (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV), Bundesgesetzblatt Jahrgang 1996 Teil I Nr. 66. ausgegeben zu Bonn am 20. Dezember 1996
- [11] *Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder* (26. Bundes-Immissionsschutzverordnung), Entwurf des LAI-AK.; 15. September 1997
- [12] *Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern*; Deutsche Norm; DIN VDE 0848 Teil 1; Gültig ab 1. August 2000
- [13] *Grundnorm für die Berechnung und Messung der elektromagnetischen Feldstärke und SAR in Bezug auf die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern von Mobilfunk-Basisstationen und stationären Teilnehmergeräten von schnurlosen Telekommunikationsanlagen (110 MHz bis 40 GHz)*; Deutsche Norm; DIN VDE 0848 Teil 383; Gültig ab 1. Juni 2003
- [14] WinField® - *Electric and Magnetic Field Calculation*, FGEU mbH 1994-2004, (R) WinField is a registered trademark of FGEU mbH
- [15] Philippow, E.: *Grundlagen der Elektrotechnik*, 10. Auflage, Verlag Technik, Berlin 2000
- [16] *Immissionen in Salzburg*; Studie erstellt durch das Bundesamt für Kommunikation (BAKOM), Forschungszentrum ARC Seibersdorf research GmbH, Magistrat Salzburg – Amt für Umweltschutz, EMC-RF Szentkuti, Februar 2003
- [17] o.V. Produktpräsentation und Dokumentation: *EMF Visual – Electromagnetic Exposure Software*; Antennessa, Frankreich

- [18] Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission - Band 16:
Nichtionisierende Strahlung; Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-Jena-New
York 1992
- [19] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit –
Referat Öffentlichkeitsarbeit: *Deutsches Mobilfunkforschungsprogramm*; 2.
Auflage, Berlin - August 2003
- [20] Reichardt, Regina; Breit, Fred: *Eine Übersicht – EMVU-Portale*; Newsletter
FGF e.V., 12. Jahrgang, Ausgabe 1, März 2004
- [21] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit –
Referat Öffentlichkeitsarbeit: *Mobilfunkbetreiber legen das zweite
Jahresgutachten zur Umsetzung ihrer Selbstverpflichtung vor*; Umwelt,
Ausgabe 4/2004

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich meine Diplomarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Berlin, den 14.06.2004

Rayko Glowa