

7 Diskussion möglicher Minimierungsmaßnahmen

7.1 Einführung

In den vorherigen Kapiteln wurden die Immissionen eingehend untersucht, die durch Mobilfunk verursacht werden. Neben der Auswertung von Immissionsmessungen sowie Simulationsrechnungen in der Umgebung von Basisstationen (Kapitel 5 und 6), ist ein Vergleich zwischen Mobiltelefon und Basisstation bezüglich der entstehenden Immission in Kapitel 3 zu finden. Ergebnis der vergleichenden Betrachtungen war, dass die Felder, verursacht durch das Telefon nicht vernachlässigt werden dürfen, wenn es um die Beurteilung der Gesamtexpositionssituation geht. Natürlich ist die Benutzung eines Mobiltelefons eine freiwillige Entscheidung, während Basisstationen auch gegen den Willen von Anwohnern errichtet werden, so dass hier keine eigene Wahlfreiheit besteht, sich dieser Art von Exposition auszusetzen oder nicht. Andererseits kann bei einer Zahl von annähernd 70 Millionen Mobiltelefonkunden in Deutschland nicht mehr von einer "Randgruppe" der Bevölkerung gesprochen werden, so dass diese Personen durchaus beansprucht werden können, bei Minimierungsüberlegungen mit einbezogen zu werden. Außerdem darf nicht vergessen werden, dass der Nutzer eines Mobiltelefons typischerweise deutlich höheren Immissionen ausgesetzt ist (wenngleich auch nicht über 24 Stunden am Tag) als ein Anwohner in der Nähe einer Mobilfunkbasisstation. Zudem bietet das Mobiltelefon aufgrund seiner Leistungsregelung das Potential einer deutlichen Immissionsverminderung für den Nutzer, wenn diese aufgrund der vorhandenen Netzqualität wirksam werden kann. Aus diesen Gründen werden die im folgenden vorgestellten Minimierungsmaßnahmen bei Basisstationen nicht nur bezüglich ihrer Wirksamkeit auf die Umgebung sondern auch in Hinblick auf die Exposition der Benutzer von Mobiltelefonen bewertet.

Nicht weiter verfolgt werden in diesem Abschnitt mögliche zukünftige technische Entwicklungen der Mobilfunktechnik, die einen positiven Einfluss auf die Exposition bei Sendeanlagen bzw. beim Nutzer des Mobiltelefons haben können, da diese Themen üblicherweise nicht im Gestaltungsbereich der Kommunen und Verwaltungsbehörden liegt. Hier handelt es sich vielmehr um typische Fragestellungen aus dem Komplex der Förderung umweltverträglicher Technologien, also um ein globales umweltpolitisches Thema, das auf höheren Ebenen (z.B. in Forschungsministerien) diskutiert und gegebenenfalls gefördert werden muss. In Kapitel 4 wurden die wichtigsten möglichen Ansatzpunkte für immissionsminimierende Mobilfunktechnologien kurz vorgestellt und ihr jeweiliges Potential aufgezeigt. Als weiterführende Literatur zu diesem Themenkreis sei hier insbesondere auf die "Minniwatt-Studie" des BMBF hingewiesen [WIE 03, SIA 04].

Einige spezielle Gesichtspunkte bezüglich der Nutzung des Mobilfunks werden im folgenden ebenfalls nicht näher diskutiert, da es sich hier ebenfalls um gesellschaftliche Grundsatzfragen bzw. regulatorische Randbedingungen handelt, die nicht mit den hier betrachteten physikalisch-technischen Gesetzmäßigkeiten beurteilt werden können:

- Das derzeitige Konsumverhalten des Mobilfunknutzers wird nicht näher bewertet. Fragestellungen, ob beispielsweise durch eine Aufforderung zu weniger intensiver Nutzung des Mobilfunks Sendeanlagen eingespart und dadurch Immissionen verringert werden können, sind nicht Thema dieser Untersuchungen.

- Auch grundsätzliche regulatorische bzw. kartellrechtliche Fragen werden nicht weiter diskutiert. Hierzu zählt beispielsweise die Tatsache, dass die Betreiber verpflichtet sind, ihre Netze unabhängig von einander aufzubauen und Sendeanlagen im Regelfall nicht gemeinsam nutzen dürfen (eine Ausnahme von dieser Vorgabe bildet derzeit die Erlaubnis, dass der Betreiber O₂ in den Regionen, in denen er noch nicht mit eigener Infrastruktur präsent ist, die Anlagen von T-Mobile nutzen darf. Diese Sonderregelung ist allerdings zeitlich befristet und aus Wettbewerbsgründen eingeführt worden, denn ohne diese Ausnahmegenehmigung hätte der Betreiber O₂ aufgrund seines relativ späten Markteintrittes wohl keine Chance gehabt, im Konkurrenzkampf mit den anderen drei Betreibern zu bestehen). Nicht betroffen von dieser Regelung ist die Möglichkeit der gemeinsamen Nutzung von Mobilfunkstandorten, also von Gebäudedächern oder Masten. Ob und unter welchen Randbedingungen eine Mehrfachnutzung von Standorten aus Sicht der Immissionsminimierung empfehlenswert ist, wird im folgenden noch eingehend diskutiert werden.
- Auch eine Grundsatzdiskussion über die Frage, was unter "ausreichender Versorgungsqualität" zu verstehen ist, soll hier nicht geführt werden. Es wird davon ausgegangen, dass die derzeit von den Betreibern angestrebte Versorgungsgüte auch dem entspricht, was die Kunden wünschen und als Mindeststandard erwarten. Angestrebt wird von den Betreibern derzeit regelmäßig eine Versorgung auch innerhalb von Gebäuden, wobei dies nie mit 100-prozentiger Sicherheit garantiert werden kann. Typisch ist eine Versorgungswahrscheinlichkeit von 90 bis 95 Prozent, was durch eine ausreichende Feldstärke innerhalb der Gebäude gewährleistet wird. In der Praxis wird die Indoorversorgung dadurch sichergestellt, dass im Freien typisch etwa 20 dB mehr Feldstärke zur Verfügung gestellt wird, als es für eine ausreichende Outdoorversorgung notwendig wäre [LÜD 01]. Zusätzlich ist eine hinreichende Netzkapazität sicherzustellen, was durch eine geeignete Stationsdichte bzw. eine ausreichende Anzahl an Gesprächskanälen (mehr Gesprächskanäle bedeutet mehr abgestrahlte Leistung) erreicht wird. Als typisches Qualitätskriterium gilt beispielsweise, dass es während der "busy hours" zu einer Blockierwahrscheinlichkeit aufgrund von Kapazitätsengpässen von maximal 1 bis 2 Prozent kommt [LÜD 01]. An dieser Stelle soll angemerkt werden, dass in keinem der aktuell betriebenen Mobilfunknetze angestrebt wird, eine Versorgung von Kellerräumen oder Tiefgaragen durch außen liegende Standorte sicherzustellen (Wenn unbedingt notwendig, werden Tiefgaragen durch Indoorrepeater versorgt). Das häufig in der öffentlichen Diskussion vorgebrachte Argument, dass die Mobilfunknetze leistungsmäßig so hoch ausgelegt werden, dass von außen auch die Versorgung von Kellern und Tiefgaragen möglich wird, ist nicht korrekt. Diesbezüglich besteht also auch kein Minimierungspotential.
- Im Rahmen dieser Untersuchungen wird auch nicht diskutiert, ob gewisse Signalformen biologisch wirksamer sind als andere, wie dies in der öffentlichen Diskussion oft vorgebracht wird. Diese Fragestellung muss durch biologische und medizinische Untersuchungen geklärt werden. Da bisher diesbezüglich keine Signalform als besonders verträglich oder unverträglich klassifiziert wurde, sondern grundsätzlich allein die mittlere aufgenommene Leistung (SAR) als Bewertungsgröße für die biologische

Wirksamkeit beim Mobilfunk herangezogen wird, kann auch in dieser Untersuchung nur eine leistungsbezogene Bewertung vorgenommen werden. Die Fragestellung ob beispielsweise UMTS-Signale biologisch verträglicher sind als GSM-Signale mit gleicher mittlerer Leistung wird hier nicht weiter behandelt.

- Obwohl streng genommen das Vorhandensein einer proportionalen Dosis-Wirkungs-Beziehung bei hochfrequenten Feldern unterhalb der geltenden Grenzwerte nicht geklärt ist, wird bei den folgenden Beurteilungen angestrebt, das möglichst geringe Immissionen in der Umgebung erzeugt werden, was auch dem von der SSK geforderten Minimierungsprinzip [SSK 01] entspricht. Streng genommen, kann allerdings die Frage nicht eindeutig beantwortet werden, ob es besser ist, die "Spitzenimmissionen" in der Umgebung einer Basisstation zu minimieren unter gleichzeitiger Inkaufnahme eines Anstiegs der mittleren Immission im weiteren Umfeld (so wie es unter Umständen bei einer Erhöhung des Antennenstandortes auftritt), oder stattdessen "Spitzenimmissionen" (natürlich unterhalb der geltenden Grenzwerte) zuzulassen, wenn dadurch die mittlere Immission in der Umgebung geringer wird. Aus diesem Grund wird jede der im folgenden vorgestellten Maßnahmen sowohl bezüglich ihrer Wirkung auf die mittlere Immission in der Umgebung als auch auf die entstehenden "Spitzenimmissionen" im Nahbereich bewertet. Besonders empfehlenswert erscheinen dann natürlich Maßnahmen, die sowohl die "Spitzenimmission" als auch die durchschnittliche Immission verringern.

Basierend auf umfangreichen Messdaten bzw. auf den Ergebnissen elementarer Simulationsrechnungen wurden in den Kapiteln 5 und 6 wesentliche Erkenntnisse über die Verteilung der Immissionen, verursacht durch Mobilfunksendeanlagen hergeleitet. Es konnten dabei die vom Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik im Rahmen der Untersuchungen für das nordrheinwestfälische Umweltministerium aus dem Jahr 2002 [BOR 02; BOR 02-3] festgestellten grundlegenden Zusammenhänge im wesentlichen bestätigt, beziehungsweise durch die große Zahl an vorhandenen Messdaten und die durchgeführten Simulationsrechnungen noch verfeinert dargestellt werden. Die in diesen Kapiteln erarbeiteten Erkenntnisse, sowie die Resultate aus den grundlegenden Betrachtungen in den Abschnitten 3 und 4 dienen als Basis für die folgenden Minimierungsüberlegungen.

Im folgenden werden Bewertungskriterien für Standorte von Mobilfunksendeanlagen vorgestellt sowie Vorgehensweisen bei der Findung von Standorten oder Standortalternativen bezüglich ihrer Möglichkeiten und Grenzen diskutiert. Dabei wird unterschieden ob es sich um

- Verfahren zur Findung und Bewertung neuer Standorte oder Standortalternativen, oder um
- Aspekte der Immissionsminimierung bei vorhandenen Standorten

handelt, da bei noch nicht realisierten Standorten natürlich ein größeres Spektrum an Handlungsmöglichkeiten zur Verfügung steht, als es bei bereits errichteten Anlagen der Fall ist.

Die im folgenden diskutierten Handlungsalternativen wurden zum Teil bereits in den vorgehenden Kapiteln angesprochen, dort allerdings meist nur prinzipiell an Hand von abstrakten Beispielen erläutert. In diesem Abschnitt sollen hingegen die denkbaren Handlungsalternativen möglichst unter Zuhilfenahme konkreter Beispiele aus der Praxis erläutert und diskutiert werden. Quasi als Zusammenfassung der in den vorhergehenden Abschnitten dokumentierten Untersuchungen wird aufgezeigt, welche Maßnahmen für die tägliche Arbeit in der Kommune praktikierbar erscheinen.

7.2 Minimierungsmöglichkeiten bei der Standortsuche

7.2.1 Standorte im Außenbereich

Eine mögliche Strategie der Immissionsminimierung ist es, Mobilfunkstandorte möglichst weit entfernt von den Bereichen zu errichten, an denen sich besonders viele Menschen über längere Zeit aufhalten. Es liegt daher also nahe, die Mobilfunkanlagen möglichst im Außenbereich zu errichten, um aufgrund des dann vorhandenen Abstandes möglichst geringe Immissionen in den besiedelten Regionen zu erhalten.

Vorteile:

- Die Wirksamkeit dieser Maßnahme ist gegeben, wenn eine ausreichende Entfernung zu den Wohngebieten realisiert werden kann. Wie die durchgeführten Untersuchungen bereits deutlich zeigten, wird mit einer Verschiebung eines Standortes aus dem Ortszentrum heraus in einen Bereich, der nur wenige hundert Meter vom Ortsrand entfernt ist, unter Umständen noch keine signifikante Minimierung erreicht. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Antennen der Standortalternative innerhalb des Ortes relativ hoch montiert sind, so dass sich große Teile der Umgebung im Nahbereichsschatten der Anlage befinden. Verlagert man die Anlage dann an eine Stelle nur wenige hundert Meter außerhalb des Ortes, erzielt man womöglich noch keine signifikante Verringerung sondern nur eine Verlagerung der Immission. Jetzt sind die Wohnbereiche am Ortsrand, der sich auf der zum Standort zugewandten Seite befindet, häufig vergleichbar oder sogar höher exponiert als es vorher der Fall war. In ungünstigen Situationen muss also, je nach topographischen Gegebenheiten, ein Abstand zum Rand der Wohnbebauung von mindestens etwa 300 bis 500 Meter sichergestellt werden um wirklich eine Immissionsverringerung zu erzielen. Bei Einhaltung dieser Randbedingung werden dann sowohl die mittleren Immissionen im Ortsbereich als auch die "Immissionsspitzen" kleiner ausfallen.
- Bei Realisierung eines derartigen, weit außerhalb des Ortes gelegenen Standortes ist eine Konzentration mehrerer Betreiber meist sinnvoll und technisch auch häufig gut realisierbar, da die Errichtung von hohen Masten mit ausreichend Tragkapazität im Außenbereich meist unproblematischer ist als innerhalb von Ortschaften (Ortsbild, Baugenehmigung). Die "optische Bedrohung" ist zudem geringer als bei Standorten innerhalb von Ortschaften.

Nachteile:

- Eine Versorgung durch außen liegende Standorte ist grundsätzlich nur bei relativ kleinen Kommunen möglich, da bei größeren Ortschaften und Städten allein durch Außenstandorte ein homogenes Feldstärkeniveau innerhalb der Orte in der Regel nicht mehr vernünftig einstellbar ist. Entweder kommt es zu Reichweitenproblemen aufgrund der großen Funkfelddämpfung bzw. zu ungenügender Indoorversorgung, wobei diese nicht durch Sendeleistungserhöhung der Basisstation kompensiert werden kann, da meist das leistungsschwache Telefon den begrenzenden Faktor darstellt: Es hilft wenig, wenn man mittels hoher Sendeleistung der Basisstation ein Telefon noch erreichen, dies jedoch aufgrund seiner begrenzten Leistung nicht mehr antworten kann. Das standardmäßig gewünschte Qualitätsziel einer ausreichend guten Indoorversorgung kann hierdurch in Frage gestellt werden.
- Zusätzlich erzeugt eine Versorgung durch mehrere außen liegende Standorte eine wenig definierte Zellularstruktur in der Ortsmitte, was zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Verbindungsqualität (durch Interferenzen) bzw. zu Kapazitätsverlusten (aufgrund häufiger Handover) führen kann.
- Auch lassen sich durch außen liegende Standorte Netzstrukturen, die an das Verkehrsaufkommen unterschiedlicher Bereiche einer Stadt angepasst sind, nicht oder nur sehr eingeschränkt realisieren, da ein kleinerer Zellradius im Innenstadtbereich durch eine höhere Standortdichte nicht mehr generiert werden kann. Insbesondere bei UMTS-Netzen ist eine Versorgung von Innenstadtbereichen nur durch außen liegende Standorte unter Einhaltung der üblichen Qualitätskriterien selbst bei kleineren Städten im Regelfall nicht mehr möglich [LAN 04].
- Prinzipiell besteht also die Möglichkeit einer Immissionsminimierung von Seiten der Basisstation durch außen liegende Standorte. Betrachtet man allerdings die Immission des Telefonnutzers, so ergibt sich durch diese Strategie genau der gegenläufige Effekt: Aufgrund der großen Entfernung zum Standort werden die Telefone regelmäßig mit höherer Sendeleistung senden, als es bei einem Netz aus nutzernahen Standorten der Fall ist. In den folgenden beiden Abbildungen ist dieser Effekt dargestellt. Es handelt sich hierbei um Ergebnisse von Messfahrten in zwei unterschiedlichen niederbayerischen Kommunen [WUR 04]. An Abbildung 7.1 ist eine Situation dargestellt, in der eine Versorgung ausschließlich durch Stationen am nördlichen bzw. südlichen Ortsrand sichergestellt wird. Telefonieren ist offensichtlich zumindest outdoor im gesamten Ortsgebiet möglich (die Messungen wurden nur outdoor durchgeführt, daher ist eine Aussage über die Qualität der Indoorversorgung hier nicht möglich), allerdings sendet das Mobiltelefon in dem überwiegenden Teil des Ortes mit hoher bis höchster Sendeleistung. Anders sieht es in der in Abbildung 7.2 dargestellten Kommune aus. Da hier die Versorgung durch einen zentral gelegenen Standort sichergestellt wird, ergibt sich im Mittel eine geringere Sendeleistung beim Telefonieren.

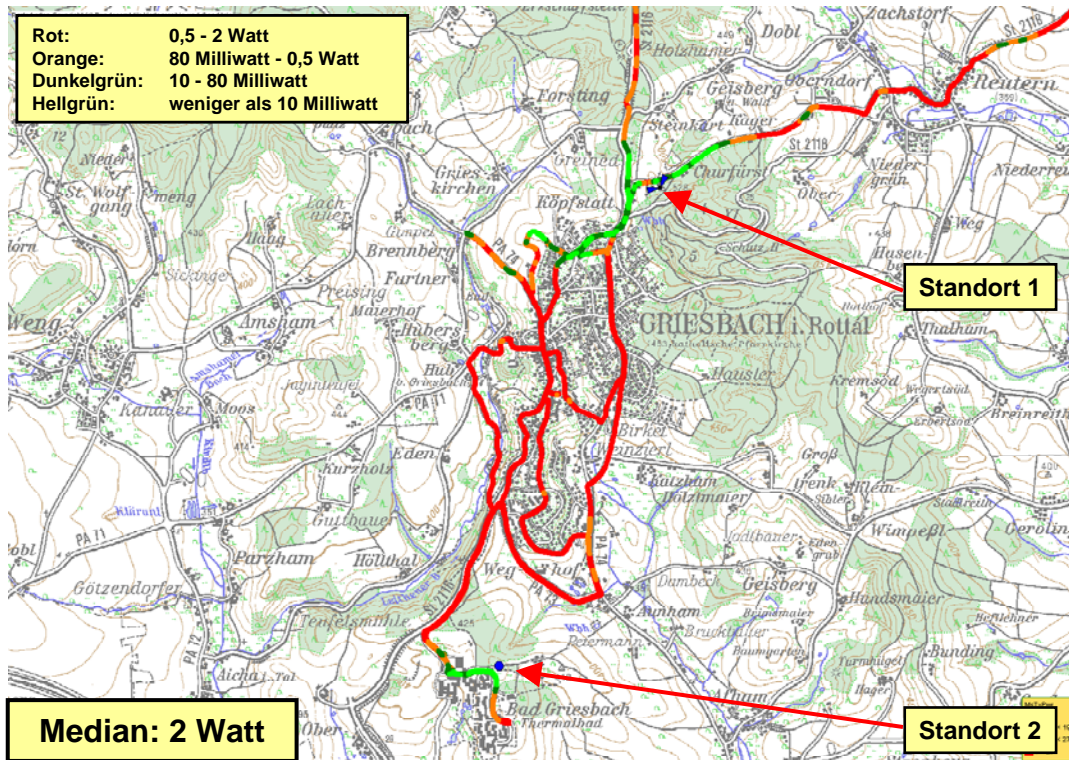


Abb. 7.1: Sendeleistung des Mobiltelefons bei Versorgung durch zwei außen liegende Standorte.

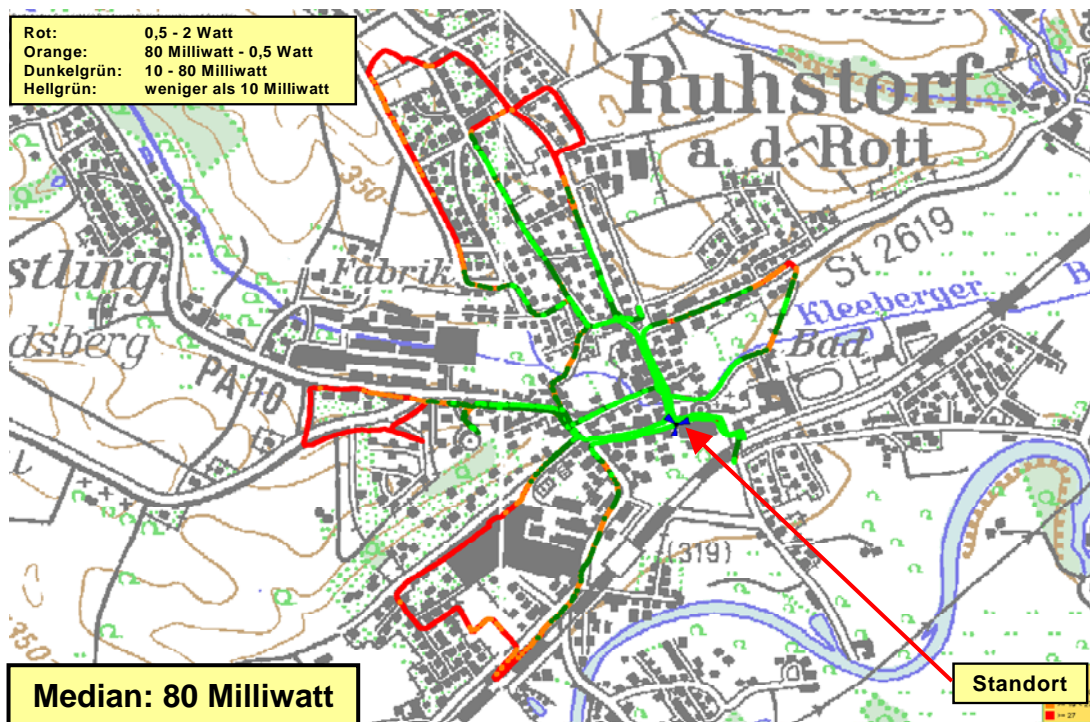


Abb. 7.2: Sendeleistung des Mobiltelefons bei Versorgung durch einen zentral gelegenen Standort.

- In eingeschränktem Maß vergrößert sich bei außen liegenden Standorten auch die Immission durch die Basisstation selbst, da viele Mobilfunkstationen ihre Gesprächskanäle je nach Verbindungsqualität einer Leistungsregelung unterziehen. Besteht also eine schlechte Verbindung zu einem Telefon, so muss die Basisstation mit höherer Leistung senden als bei einer guten Verbindung. Das Potential an Leistungsreduktion bei der Basisstation ist wegen der von ihr immer mit voller Leistung abgegebenen Signalisierungssignale allerdings bei weiten nicht so groß, wie es beim Telefon der Fall ist.

7.2.2 Freihaltebereiche

In Abwandlung der in Abschnitt 7.2.1 vorgestellten Maßnahme wird häufig vorgeschlagen, pauschale "Freihaltebereiche" zum Beispiel in der Umgebung von "sensiblen Orten" wie Schulen, Kindergärten, Altenheimen oder Krankenhäusern zu definieren, um dort die Felder möglichst niedrig zu halten.

Vorteile:

- Das Verfahren ist sehr einfach umsetzbar, da hier ein reines Entfernungskriterium angewendet wird.
- Die Öffentlichkeitswirksamkeit dieser Strategie ist meist sehr hoch, da Standorte, die sich sehr nahe an "sensiblen Einrichtungen" befinden, häufig besonders im Fokus der öffentlichen Diskussion stehen.

Nachteile:

- Wie die Untersuchungen in Kapitel 5 und 6 bereits deutlich zeigten, müsste der Freihaltebereich mindestens einen Radius von etwa 300 bis 500 Meter um den "sensiblen Ort" besitzen, damit zuverlässig gewährleistet ist, dass die Immission auch wirklich niedriger ausfällt, wenn der Standort außerhalb des Freihaltebereiches errichtet wird. Bei zu kleinen Radien kann es möglich sein, dass man die Immission am "sensiblen Ort" sogar noch maximiert, obwohl man eigentlich eine Minimierung beabsichtigt hat. Als Beispiel dazu folgendes Szenario aus einer nordbayerischen Stadt: Abbildung 7.3 wurde im Außenbereich eines Kindergartens aufgenommen, der sich in unmittelbarer Nähe zu einem Mobilfunkstandort (Hochhausdach) befindet. Aufgrund des geringen Abstandes (80 Meter) befindet sich der Kindergarten allerdings im gut ausgeprägten Nachbereichsschatten des relativ hohen Standortes, so dass sich hier nur Immissionen von etwa 2 Prozent vom Grenzwert (feldstärkebezogen) ergaben. Eine zweite Messung wurde in größerer Entfernung (250 Meter) zum Antennenstandort durchgeführt (siehe Abbildung 7.4). Hier wurde eine deutlich höhere Immission von 6,5 Prozent vom Grenzwert festgestellt. Würde man also einen Freihaltebereich von beispielsweise 250 Meter zum Kindergarten einhalten, hätte man dadurch unter Umständen eine deutliche Vergrößerung der Immission im Bereich des Kindergartens verursacht.

- Eine sichere Immissionsminimierung wäre also nur bei Freihaltebereichen mit einem Radius von mindestens 300 bis 500 Meter möglich. Dies ist eventuell in kleinen Kommunen im Einzelfall realisierbar. In größeren Städten würde bei der dort üblicherweise vorhandenen großen Anzahl an "sensiblen Orten" und der Tatsache, dass die Mobilfunksendeanlagen eines Betreibers teilweise nur noch einen Abstand von zirka 1.000 bis 1.500 Meter besitzen, nicht mehr ausreichend viele Bereiche für den Aufbau von Mobilfunksendern zur Verfügung stehen. Dadurch würde es häufig nicht mehr möglich, insbesondere im Zentrum größerer Städte ein flächendeckendes Netz unter Einhaltung der üblichen Versorgungsqualität zu errichten.
- Eine reine Entfernungsbetrachtung ist also in der Praxis wenig als immissionsvermindernde Maßnahme geeignet. Allerdings wird in Kapitel 7.5 noch gezeigt, dass ein vereinfachtes Entfernungskriterium zumindest als erste Prüfstufe bei der Immissionsbeurteilung von Standorten möglich ist.



Abb. 7.3: Ergebnis einer Immissionsmessung im Außenbereich eines Kindergartens, der sich in 80 Meter Abstand zu einem Mobilfunkstandort befindet.



Abb. 7.4: Ergebnis einer Immissionsmessung in deutlich größerer Entfernung zum gleichen Standort (250 Meter).

7.2.3 Bewusstes Ausnutzen des Nahbereichsschattens

Als Konsequenz zu den im vorhergehenden Abschnitt diskutierten Entfernungsabhängigkeiten wird gelegentlich vorgeschlagen, die Mobilfunkantennen direkt auf das Schulgebäude oder das Krankenhaus zu platzieren, damit sich der "empfindliche Ort" optimal im Nahbereichsschatten befindet. Abgesehen davon, dass dieses Verfahren in der Öffentlichkeit nur schwer vermittelbar ist, muss dabei sehr stark darauf geachtet werden, dass der Nahbereichsschatten wirklich gut ausgeprägt ist, d.h. die Antennen ausreichend hoch montiert werden und auch eventuell vorhandene Nebenkeulen des Antennendiagramms im Nahbereich nicht zu übermäßigen lokalen Immissionsspitzen führen. Die folgenden beiden Bilder zeigen jeweils Mobilfunkantennen, montiert auf einer Schule bzw. einem Krankenhaus, wobei hier aufgrund der baulichen Gegebenheiten vermutlich eine günstigere Immissionssituation eingetreten ist, als wenn man die Antennen beispielsweise in 100 Meter Entfernung auf einem Nachbargebäude installiert hätte. Die beiden Standorte befinden sich übrigens in der Schweiz, das bedeutet, sie wurden auch bezüglich der Einhaltung der Schweizer "Anlagegrenzwerte" überprüft.



Abb. 7.5: Mobilfunkantennen, montiert auf einer Schule (links) bzw. auf einem Krankenhaus (rechts).

Messungen innerhalb der beiden Gebäude ergaben Immissionswerte von maximal 1,5 Prozent vom Grenzwert (feldstärkebezogen).

Ein zweites Beispiel soll zeigen, dass die Strategie, Mobilfunkantennen direkt auf dem "empfindlichen Ort" zu platzieren, nicht immer die beste Lösung darstellt. Allerdings wurde in diesem Fall umsichtig vorgegangen, denn im Vorfeld des Standortbaues wurden beide Alternativen mittels Prognoseberechnungen analysiert. Abbildung 7.6 zeigt den Außenbereich eines Kindergartens in einer mittelfränkischen Stadt. In unmittelbarer Nähe (etwa in 150 Meter Entfernung) ist die Errichtung einer Mobilfunkanlage auf dem Dach eines Lagergebäudes (Montagehöhe der Antenne: etwa 15 Meter) geplant. Es wurde diskutiert, ob eine Errichtung der Anlage direkt auf dem Dach des Kindergartens nicht die günstigere Alternative aus Sicht der Exposition der Kinder darstellt. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf den Außenbereich des Kindergartens gelegt.



Abb. 7.6: Betrachteter Kindergarten mit Flachdach, das als Alternativstandort für die Mobilfunkanlage diskutiert wurde.

Zunächst ist in folgender Abbildung die zu erwartende Immission (feldstärkebezogen in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV, 1,5 Meter über Grund) bei Errichtung der Mobilfunkanlage auf dem Lagergebäude dargestellt:

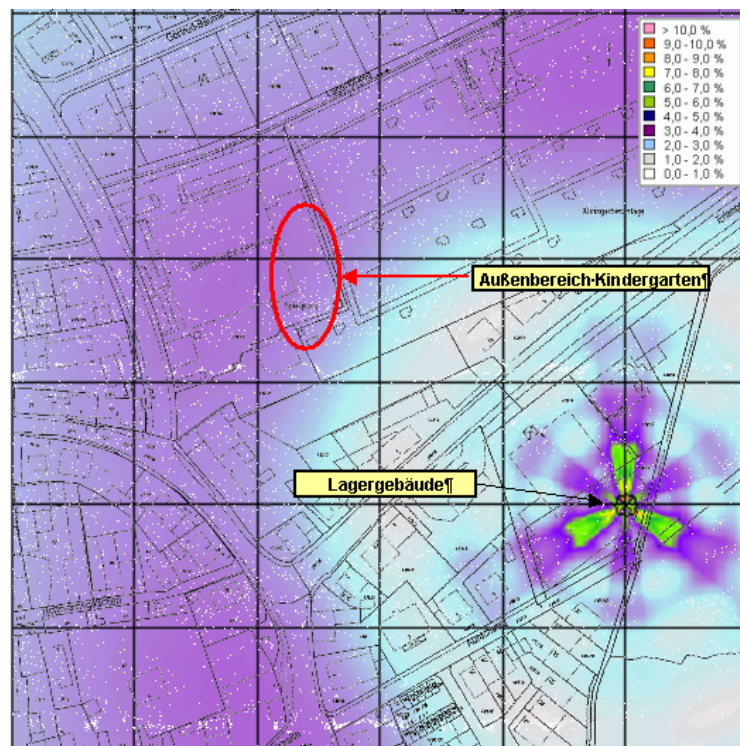


Abb. 7.7: Standortalternative 1: Lagerhaus (Rasterlinien 50 x 50 m).

Folgende Abbildung zeigt die Immissionssituation bei Errichtung der Antenne auf dem Dach des Kindergartens:

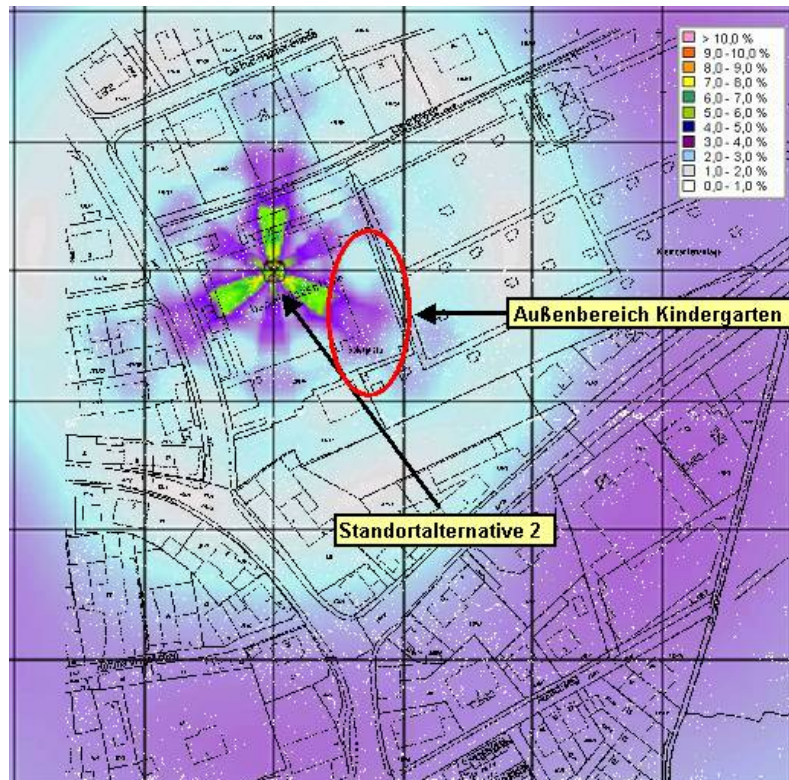


Abb. 7.8: Standortalternative 2: Dach des Kindergartens (Rasterlinien 50 x 50 m).

Die Feldstärkeprognosen in Abbildung 7.7 und 7.8 wurden mit dem gleichen Softwaretool wie die Simulationen in Kapitel 6 dieses Berichtes durchgeführt. Abschattungen oder Zusatzdämpfungen durch Bewuchs oder Gebäude werden hierbei nicht berücksichtigt.

Aufgrund der relativ niedrigen Gebäudehöhe des Kindergartens, kann hier auch nur eine Montagehöhe der Antennen von etwa 15 Meter realisiert werden, wodurch sich der Nahbereichsschatten der Anlage noch nicht optimal ausbilden kann. Dies führt dazu, dass im Außenbereich des Kindergartens zwar punktuell niedrigere Immissionen erzeugt werden, als es beim Lagerhausstandort der Fall ist, an manchen Stellen jedoch auch größere Werte auftreten, so dass hier keine eindeutige Präferenz für den Kindergartenstandort besteht. Außerdem befinden sich zwischen dem Lagerhaus und dem Kindergarten noch eine Anzahl von Laubbäumen, so dass durch deren Einfluss in der Realität die Wellen, die vom Lagerhausstandort ausgehen, noch zusätzlich gedämpft werden. Berücksichtigt man allerdings auch die psychologische Wirkung eines Antennenträgers auf dem Flachdach des Kindergartengebäudes, so sollte man hier auf jeden Fall von dieser Alternative Abstand nehmen.

7.2.4 Hohe Standorte

Eine weitere Strategie zur Immissionsminimierung ist die Verwendung möglichst hoher Antennenstandorte (z.B. Türme, Kamine, Hochhäuser). Es muss allerdings dabei sichergestellt sein, dass die umgebende Bebauung deutlich niedriger ist als der Antennenstandort, damit sich der "Nahbereichsschatten" gut ausprägen kann.



Abb. 7.9: Günstig: "Hoher" Antennenstandort bei gleichzeitig niedriger Umgebungsbebauung.

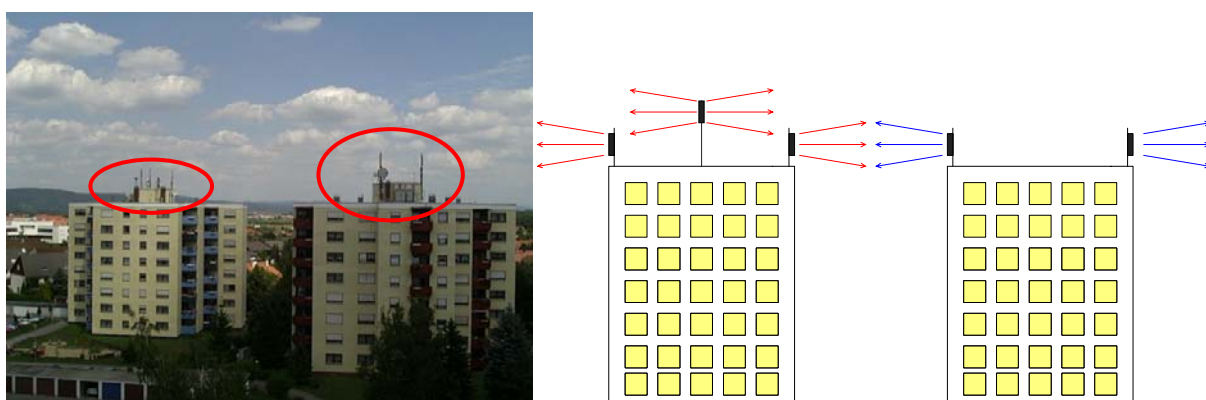


Abb. 7.10: Ungünstigere Situation: Zwei benachbarte Hochhäuser mit Mobilfunkantennen auf dem Dach.

Vorteile:

- Die Wirksamkeit dieser Maßnahme ist gegeben, wie es durch die Messergebnisse und die Simulationsrechnungen bestätigt wird. Hoch liegende Standorte verringern sowohl die mittlere Immission als auch die "Immissionsspitzen", da insbesondere die Punkte im Nahbereich bezüglich der Antennen unter sehr steilem Vertikalwinkel erscheinen. Die Homogenität der Immissionen in der Umgebung des Standortes wird ebenfalls verbessert.
- Die Immission des Telefonierers wird sich nicht verschlechtern, da die Sichtbarkeit der Station für viele Empfangsorte durch die hohe Antennenmontage eher verbessert wird, was eine geringere Funkfelddämpfung und daher eine geringere Sendeleistung des Telefons bewirkt.
- Derartige Standorte sind gut für die Mehrfachnutzung geeignet, da durch die große Montagehöhe die Immission typisch so stark verringert wird, dass dieser Effekt bei einer Mehrfachnutzung des Standortes nicht wieder kompensiert wird. Bei der Auswertung der Messergebnisse hat sich diese Tatsache dadurch bemerkbar gemacht, dass kein eindeutiger Trend zu höheren Immissionen in der Umgebung von mehrfach genutzten Standorten feststellbar war (Kapitel 5.4.3).

Nachteile:

- Der Vorteil einer Verringerung der Immission im Nahbereich wird mit einer Zunahme der Immissionen in größerer Entfernung vom Standort erkauft.
- Hohe Standorte können sich negativ auf die Qualität eines Mobilfunknetzes auswirken, da es vermehrt zu Überreichweiten und Interferenzen kommen kann, was eventuell durch eine stärkere Strahlabsenkung beherrscht werden kann. Dadurch kommt es allerdings wiederum zu einer gewissen Zunahme der Immission im "Nahbereich", der den Immissionsgewinn, den der erhöhte Antennenstandort bringt, teilweise kompensiert.
- Für konventionelle UMTS-Netze (Versorgung durch ein engmaschiges Netz von Antennen, die nicht wesentlich höher als die durchschnittliche Dachfirsthöhe der Umgebung montiert sind) sind sehr hohe Antennenstandorte ungeeignet, da diese zu viel Störsignal in Nachbarzellen generieren. Allerdings nutzt E-Plus seit neuestem die bereits erwähnten UHS-Standorte (Montagehöhe der Antennen größer 100 Meter), eine Strategie, die aus Sicht der Immissionsminimierung positiv zu bewerten ist. Ob dieses Standortkonzept dauerhaft eine qualitativ ebenbürtige Alternative zur bisherigen Aufbaustrategie bei UMTS darstellt, werden die Erfahrungen der nächsten Monate zeigen. Auf jeden Fall ist es offensichtlich möglich, mit derartigen UHS-Standorten eine nicht unerhebliche Zahl an niedrig montierten Antennenstandorten einzusparen [EPLUS 04].

7.2.5 Konzentration mehrerer Anlagen auf wenigen Standorten

Eine weitere Minimierungsstrategie besteht darin, Mobilfunkanlagen auf einigen wenigen Standorten zu konzentrieren. Dies kann dann sinnvoll sein, wenn die Konzentrationsstandorte entweder weit von Wohngebieten entfernt sind, oder - bei Standorten innerhalb von Wohngebieten - die Antennen deutlich höher als die umgebende Bebauung montiert werden.

Vorteile:

- Wie in den Abschnitten 7.2.1 und 7.2.4 bereits dargelegt, können außerhalb liegende oder hohe Standorte eine so starke Schwächung der Exposition erzeugen, dass Spielraum für eine Errichtung weiterer Anlagen auf diesen Standorten bleibt, ohne dass dadurch die Immissionsverringerung völlig zunichte gemacht wird.
- Durch Konzentration auf geeigneten Standorten werden nicht nur die mittleren Immissionen, sondern auch ortsbezogene "Immissionsspitzen", wie sie zum Beispiel bei niedrig montierten Anlagen auftreten, verringert.
- Zusätzlich ergibt sich eine Verminderung der optischen "Sichtbarkeit" der Standorte, da Mobilfunkantennen nicht mehr an so vielen verschiedenen Orten in der Kommune vorhanden sind.
- Gegebenenfalls besteht für die Kommune die Möglichkeit, möglichst viele Einzelstandorte auf kommunalen Liegenschaften zu konzentrieren, so dass sie dadurch, über die zivilrechtliche Vertragsgestaltung mit den Betreibern, die Möglichkeit eines regulativen Eingriffs in zukünftige Ausbauprojekte gewinnt.

Nachteile:

- Bei sehr hohen bzw. weit außerhalb liegenden Standorten ergeben sich die bereits in den letzten Kapiteln dargelegten Einschränkungen bezüglich der Netzabdeckung und Versorgungsqualität.
- Es wird daher sicherlich nicht möglich sein, beispielsweise mehrere GSM- oder UMTS-Standorte eines Betreibers auf einem Gebäudedach oder Mast zu konzentrieren, da die einzelnen Anlagen über die Fläche verteilt werden müssen. Allenfalls kann ein Betreiber am gleichen Ort GSM- und UMTS aufbauen. Jedoch können verschiedene Betreiber einen Standort gemeinsam nutzen.
- Gelegentlich werden in der Öffentlichkeit Standortkonzentrationen negativ beurteilt, da angenommen wird, dass besonders viele Antennen auf einem Gebäude oder Mast in der Umgebung auch besonders hohe Immissionen erzeugen. Diese Befürchtungen müssen durch Aufklärung und Information ausgeräumt werden, wenn es sich um einen Standort handelt, der die oben angegebenen Kriterien für eine Eignung als Konzentrationsort (z.B. Höhe) erfüllt. Beispielsweise kann hier durch eine Messung die notwendige Information bereitgestellt werden, wie folgendes Beispiel zeigt: Immissionsmessungen in zwei Kindertagesstätten, die von insgesamt sechs Mobilfunkanlagen "um-

zingelt" waren (siehe Abbildung 7.11), zeigten, dass im Bereich der Kindertagesstätten trotzdem nur Feldstärkewerte von weniger als drei Prozent des Grenzwertes erzeugt werden. Der Grund für diese, im Verhältnis zur Zahl der umliegenden Antennen, relativ niedrigen Immissionswerte ist gut in Abbildung 7.11 erkennbar: Die Entfernung zu den Standorten ist zwar relativ gering, jedoch befinden sich die Antennen alle in verhältnismäßig großer Höhe, so dass sie von den Kindertagesstätten aus gesehen unter einem relativ steilen Winkel erscheinen, und damit die vertikale Winkeldämpfung der Mobilfunkantennen wirksam werden kann.



Abb. 7.11: Außenbereich von zwei Kindertagesstätten, umgeben von sechs Mobilfunkanlagen, deren Antennen auf den Dächern von vier benachbarten Hochhäusern montiert sind.

7.2.6 Verteiltes Senderkonzept

Wie in Kapitel 4.1.1 bereits erläutert, kann durch ein Netzkonzept, das aus einer größeren Zahl an dichter angeordneten Stationen mit jedoch geringerer Sendeleistung besteht, eine Verringerung der mittleren abgestrahlten Leistung und damit auch der mittleren Immission erzielt werden.

Vorteile:

- Im Unterschied zu vielen anderen Minimierungsoptionen wird hier die abgestrahlte Leistung wirklich betragsmäßig reduziert. Die Immissionsminimierung wird also nicht nur durch ein Verlagern der Felder in andere Bereiche erzielt.
- Bei unveränderten Antennenstandorten reduzieren sich nicht nur die mittleren Immissionen, sondern auch die ortsbezogenen "Immissionsspitzen".
- Eine Verdichtung des Netzes geht nicht nur mit einer Verringerung der ortsbezogenen bzw. der Gesamtimmission durch die Basisstationen einher. Auch Mobiltelefone verfügen über einen intelligenten Leistungsregelungsalgorithmus, d.h. die Leistung wird seitens des Mobiltelefons so weit herunter geregelt, dass gerade noch genug Feldstärke an der betreffenden Basisstation für die Aufrechterhaltung einer Gesprächsverbindung ankommt.

Nachteile:

- Ein offenkundiger Nachteil dieses verteilten Sendernetzkonzeptes ist, dass mit der Verdichtung eine Vergrößerung der Anzahl der Basisstationen einhergeht. Dieses ist in der gegenwärtig stark emotionalisiert geführten Diskussion zu dieser Thematik als kritisch zu sehen, da oftmals die Ängste von Teilen der Bevölkerung nicht mit der Mobilfunkimmission an sich, sondern mit der Zahl der sichtbaren Basisstationsantennen einherzugehen scheint. Mehr Antennen werden mit mehr Immission verbunden, obwohl bei einem verteilten Senderkonzept eher der umgekehrte Fall zutreffend ist.
- Außerdem ist die Errichtung von zusätzlichen Basisstationen zur Netzverdichtung mit erheblichen Kosten seitens der Netzbetreiber verbunden. Daher wird für die einzelne Kommune hier wenig Entscheidungsspielraum bestehen, da das Senderkonzept vom Betreiber nach Abwägung von Kapazitätsanforderungen und finanziellen Aspekten festgelegt wird.
- Berücksichtigt werden muss allerdings auch der Trend, dass bei sehr kleinzelligen Netzen die Betreiber von den üblichen Dach- oder Maststandorten mehr und mehr Abstand nehmen müssen, und häufiger niedrig montierte Antennen aufbauen, so dass zwar eine Verringerung der durchschnittlichen Immission feststellbar ist, jedoch wieder verstärkt ortsbezogenen "Immissionsspitzen" zum Beispiel in Wohnbereichen in unmittelbarer Nähe der niedrig montierten Antennen auftreten können (siehe Abbildung 7.12).



Abb. 7.12: Zwei Mobilfunkantennen für Mikrozellenversorgung, montiert an einer Gebäudefassade. In den dahinter liegenden Räumen muss mit überdurchschnittlich hohen Feldern gerechnet werden.

Folgendes Beispiel verdeutlicht die Problematik, dass aufgrund einer niedrigeren Antennenmontage die durch eine geringere Sendeleistung erzielte Verringerung an Sendeleistung mehr als kompensiert werden kann:

Mittels Berechnungen sollen die zu erwartenden Immissionen bei zwei unterschiedlichen Standortkonfigurationen für eine niedersächsische Gemeinde überschlägig prognostiziert werden:

- In der ersten Konfiguration wird eine Sendeanlage für den GSM- und den UMTS-Mobilfunk betrachtet, deren Antennen auf einem zentral in Ortsmitte gelegenen Mast (Höhe ca. 40 Meter) montiert sind.
- In der zweiten Konfiguration soll dieser eine 40-Meter-Mast durch vier 20-Meter-Masten (bzw. Dachstandorte) "ersetzt" werden. Die jeweilige Sendeleistung und Strahlabsenkung (Downtilt) dieser vier niedrigeren Mastinstallationen wurden gemäß der Angaben des Netzbetreibers verringert.

Der Vergleich dieser beiden Konstellationen soll Aufschluss darüber geben, ob in diesem Fall eine Versorgung von einem hohen zentralen Sendemast oder eine verteilte Anlagenanordnung aus Sicht der Immissionsminimierung die günstigere Alternative darstellt. Die sich ergebende Immissionsverteilung ist in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt:

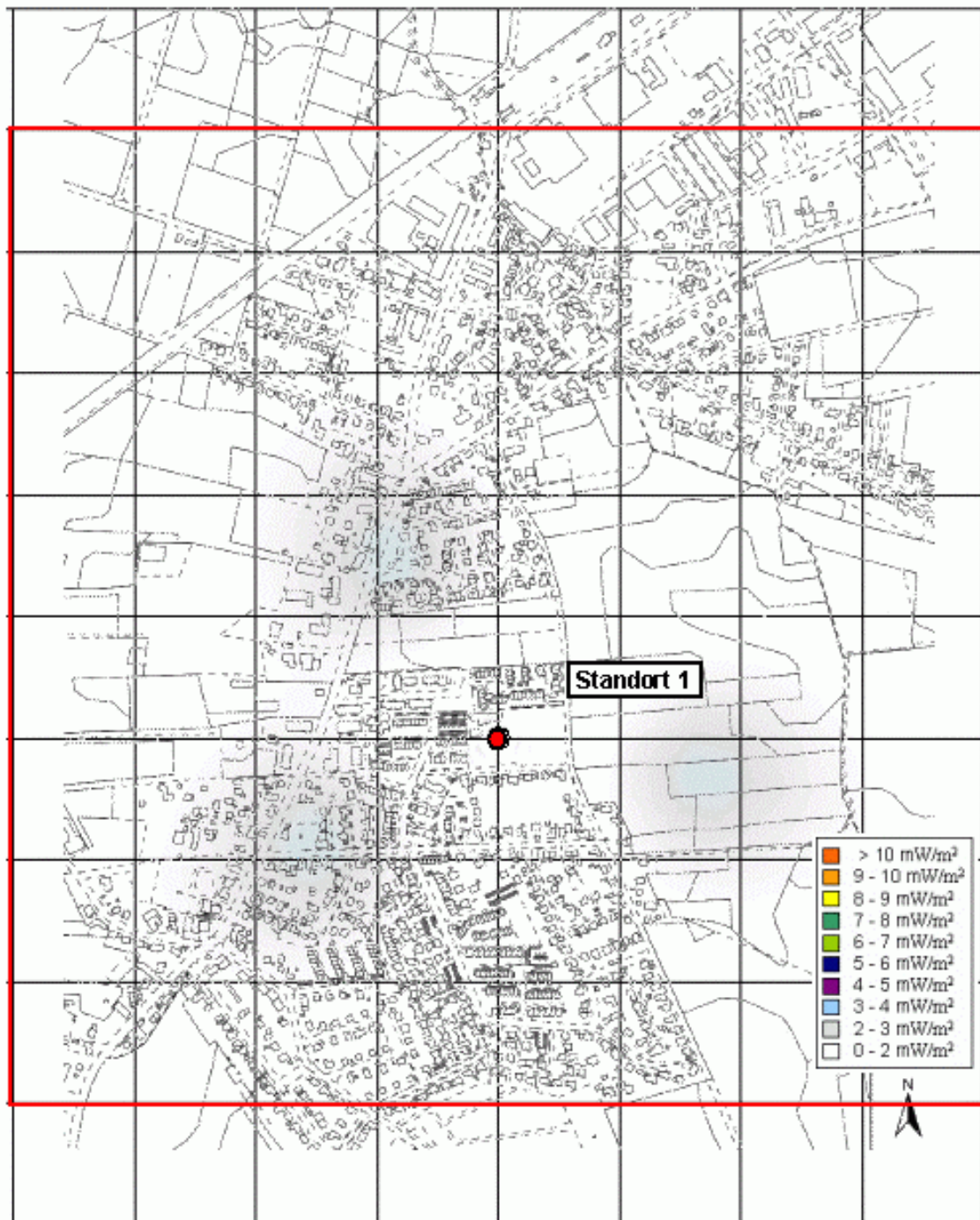


Abb. 7.13: Horizontale Darstellung der Immissionswerte in Ortsgebiet (Konstellation 1), fünf Meter über Grund (Rasterlinien: 200m x 200m). Die rote Umrandung markiert die Fläche, über die die mittlere Leistungsflussdichte berechnet wird.

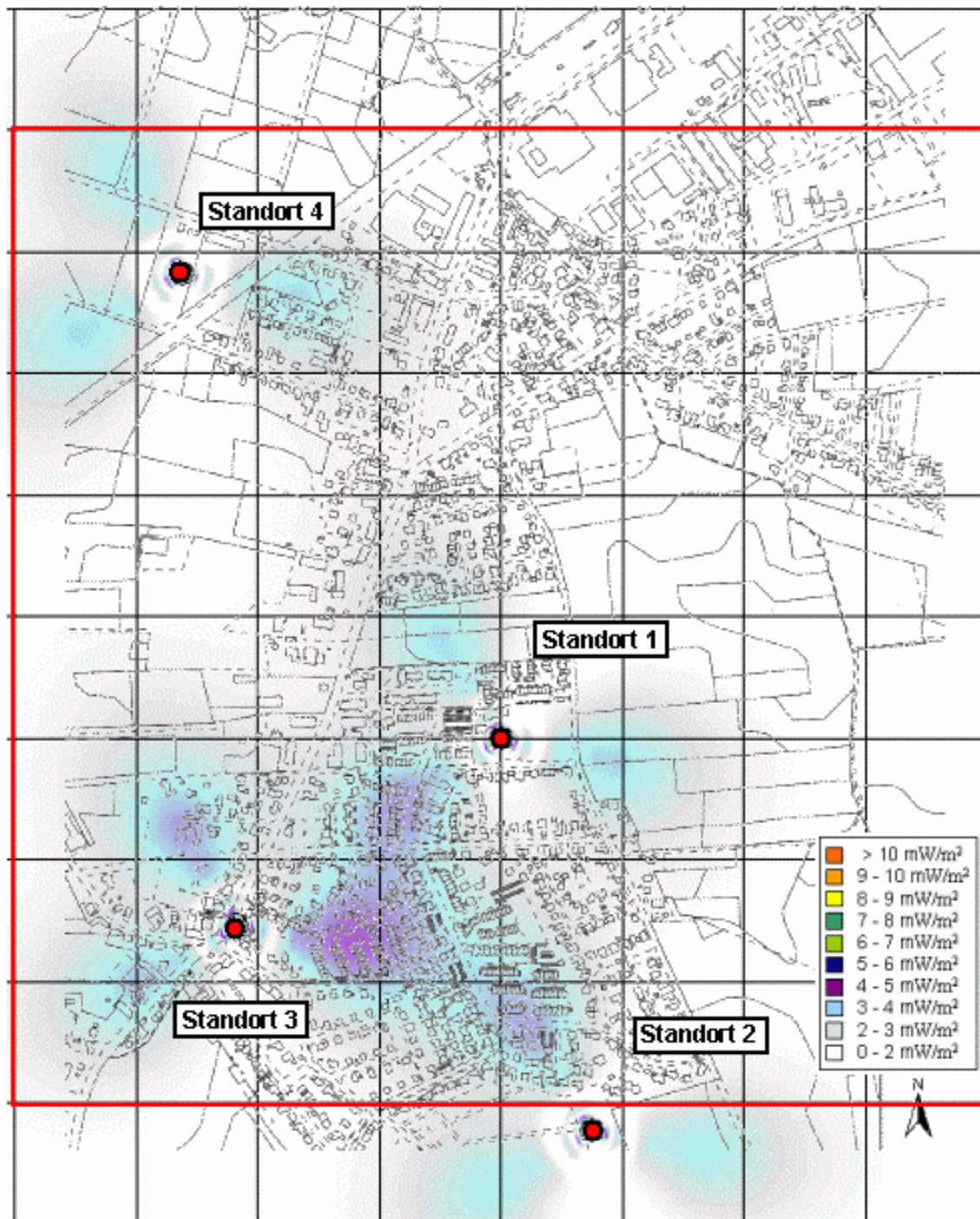


Abb. 7.14: Horizontale Darstellung der Immissionswerte in Ortsgebiet (Konstellation 2), fünf Meter über Grund (Rasterlinien: 200m x 200m). Die rote Umrandung markiert die Fläche, über die die mittlere Leistungsflussdichte berechnet wird.

Um die entstehenden Immissionssituationen besser vergleichen zu können, wird jeweils die mittlere Leistungsflussdichte für den betrachteten Bereich berechnet. Die rote Umrandung in

den beiden obigen Abbildungen markiert die Fläche, für die dieser Mittelwert der Leistungsflussdichte ermittelt wurde. Das Gebiet; über das die Leistungsflussdichte gemittelt wurde; ist bei beiden Konfigurationen in Größe und Lage gleich.

In Tabelle 7.1 sind für die beiden betrachteten Konfigurationen die größten, für die betrachtete Höhe (fünf Meter über Grund) berechneten Immissionen sowie der Mittelwert über die 1.600 x 1.600 Meter große Fläche angegeben.

Konfiguration Nr.	Mittelwert der Leistungsflussdichte in fünf Meter Höhe über Grund	Höchstwert der Leistungsflussdichte in fünf Meter Höhe über Grund
1	0,61 mW/m ²	2,24 mW/m ²
2	1,31 mW/m ²	4,07 mW/m ²

Tab. 7.1: Prognostizierte Leistungsflussdichte (Maximal- und Mittelwert).

Ein Vergleich der beiden Konfiguration liefert bei Verwendung eines zentralen hohen Sendemastes mit größerer abgestrahlter Leistung im Mittel um etwa den Faktor 2 geringere leistungsbezogene Immissionen, als eine Lösung, bestehend aus vier leistungsschwächeren Anlagen mit jedoch deutlich niedrigerer Montagehöhe der Antennen.

Die prinzipielle Möglichkeit, eine Immissionsverringerung durch die Errichtung eines Netzes, bestehend aus vielen leistungsschwächeren Anlagen, zu erzielen, ist prinzipiell zwar gegeben, jedoch besteht die Möglichkeit, dass die Immissionsverringerung durch die geringeren Sendeleistungen der einzelnen Stationen durch eine niedrigere Montagehöhe der Antennen wieder kompensiert wird. Daher bedarf es bei der Bewertung derartiger Alternativen, so wie in dem hier vorgestellten Beispiel, in der Regel einer Einzelfallbetrachtung.

7.2.7 Keine Sichtverbindung zu den Mobilfunkantennen

Aufgrund der entstehenden Zusatzdämpfung durch Bäume, Gebäude oder Berge ist bei nicht vorhandener Sicht zwischen Immissionsort und Mobilfunkantenne mit einer Verringerung der Immission zu rechnen. Im Rahmen der Datenbankauswertung wurde in Tabelle 5.5 ein mittlerer Unterschiedsfaktor bezüglich der Immissionen am Orten mit Sicht zu einer Mobilfunkstation von etwa 9 dB im Vergleich zu Punkten ohne Sicht festgestellt. Daher ist es im Vorfeld einer Standortentscheidung durchaus sinnvoll, zu prüfen ob Standortalternativen existieren, die zu besonders relevanten Orten (z.B. "sensible Bereiche", wie Schulen, Kindergärten, Altenheime, Krankenhäuser) nur eingeschränkte oder gar keine Sichtverbindung besitzen. Eventuell lassen sich dadurch auch Wünsche bezüglich der Positionierung von Masten oder Antennenträgern auf ausgedehnten Hochhausdächern an die Betreiber formulieren.

Vorteile:

- Die Prüfung der Sichtverbindung ist relativ einfach, beispielsweise im Rahmen einer Ortsbegehung durchführbar. Bei geeigneter Standortpositionierung können zumindest ortsbezogene "Immissionsspitzen" an besonders relevanten Punkten minimiert werden.
- Bei guter Kommunikation zwischen dem Netzbetreiber und der Kommune kann ein konkreter Minimierungswunsch gegebenenfalls durch den Funknetzplaner oder den Bauleiter bei den Ortsbegehungen des Betreibers vor Ort schon mit berücksichtigt werden.

Nachteile:

- Es ist nicht zu erwarten, dass die Standorte so positioniert werden können, dass von den Antennen aus in alle Richtungen keine oder eingeschränkte Sicht in die Umgebung besteht. Denn in diesem Fall ist es sehr wahrscheinlich, dass die Anlage ihren Versorgungszweck nicht oder nur eingeschränkt erfüllen kann. Es werden vom Betreiber daher regelmäßig exponierte Standorte gewählt werden müssen. Somit ist bei Anwendung dieser Maßnahme nicht mit einer signifikanten Verringerung der durchschnittlichen Immission in der gesamten Umgebung zu rechnen. Maximal könnte sich eine Verringerung bei einigen begrenzten Flächenbereichen ergeben.
- Es muss auch darauf geachtet werden, dass in den Fällen, bei denen die Sichtbehinderung durch Gebäudefassaden erzielt wird, die Immissionsminimierung am betrachteten Ort nicht durch eine nennenswerte Immissionsvergrößerung im Inneren des dazwischen stehenden Gebäudes erkaufte wird.
- Angemerkt sei an dieser Stelle noch, dass eine Sichtbehinderung durch einfaches "Tarnen" der Mobilfunkantennen (z.B. durch Kaminnachbildungen oder Verstecken hinter den Schalllamellen der Glockenstuben von Kirchtürmen) nicht zu einer signifikanten Verminderung der Immission führt, da die Materialien der Antennenabdeckungen so gewählt werden, dass sie keine allzu große Dämpfung auf die abgestrahlten Wellen ausüben. "Tarnen" von Mobilfunkantennen verringert nur die "optische Beeinträchtigung", kann aber in manchen Fällen auch zu besonders großen Beunruhigungen führen, wenn der "getarnte" Standort in der Öffentlichkeit bekannt wird.

7.2.8 Optimierungen durch eigene Planungen

Es wurde bereits dargelegt, dass die Erarbeitung eigener Netzplanungen durch externe Dienstleister für Kommunen wenig sinnvoll sind, da sie im Regelfall auf wenig Akzeptanz bei den Netzbetreibern stoßen und zudem sehr kostspielig sind, wenn die Planung wirklich mit den qualitativ hochwertigen Werkzeugen durchgeführt werden, wie sie heute bei den Betreibern üblich sind. Allerdings besteht für eine Kommune die Möglichkeit eigener Optimierungsmaßnahmen, wenn es um die Beurteilung von Standortalternativen von Sendeanlagen geht. Da die Verwaltungen für derartige Untersuchungen allerdings keine ausreichende eigene

Fachkompetenz besitzen, müssen sie hier zwar auf externe Dienstleister zurückgreifen, die Prüfung einzelner Standortalternativen ist jedoch im Regelfall mit erträglichem finanziellem Aufwand machbar. Zudem fördert der Freistaat Bayern derzeit im Rahmen des "FEE-Programms" Prognoseberechnungen für geplante Standorte mit erheblichen Zuschüssen (FEE: Förderung der Erfassung von elektromagnetischen Feldern durch die Kommunen).

Vorteile:

- Mittels einfacher Prognoseberechnungen wird es möglich, bei vorhandenen Standortalternativen sich für diejenige zu entscheiden, die je nach angestrebtem Minimierungskonzept die günstigste Wahl darstellt.
- Wenn der Netzbetreiber im Vorfeld erklärt hat, dass er die zur Prüfung vorliegenden Alternativen aus funktechnischer Sicht akzeptieren kann, besteht nicht die Gefahr, dass ein von der Kommune nach Durchführung der Immissionsbewertung bevorzugter Standort durch die Betreiber abgelehnt wird.

Nachteile:

- Wird als Bewertungskriterium die ortsbezogene Immission an einem oder wenigen besonders relevanten Orten oder Bereichen herangezogen, sind meist relativ einfache Prognoseberechnungen für die Durchführung der Bewertung ausreichend. Wird allerdings eine Minimierung der flächenbezogenen mittleren Immission in der Umgebung des Standortes gewünscht, können einfache Berechnungsansätze häufig nicht mehr ausreichen. Sind dann auch noch eine Vielzahl von Standorten gleichzeitig zu betrachten, werden der Arbeitsaufwand und die Kosten sehr schnell ungemein ansteigen (Siehe dazu auch die Ausführungen in Kapitel 6.1).
- Nochmals sei darauf hingewiesen, dass EMVU-Dienstleister zwar durchaus in der Lage sind, mittels Berechnungen besonders immissionsgünstige Standorte zu definieren, im Regelfall besitzen sie jedoch nicht die fachliche Kompetenz bzw. die notwendigen Softwarewerkzeuge, um auch die funktechnische Eignung von Mobilfunkstandorten beurteilen zu können. Dazu sind neben kostspieligen Softwaretools auch sehr detaillierte Informationen über das Netzkonzept und die firmeninternen Qualitätskriterien der Netzbetreiber notwendig, die derartigen Dienstleistern üblicherweise nicht vorliegen. Daher macht es wenig Sinn, zusätzlich zu Immissionsberechnungen auch Netzplanungen an externe Dienstleister zu vergeben, da abgesehen von den hohen Kosten für solche Untersuchungen, damit gerechnet werden muss, dass die Betreiber derartige Eigenlösungen als qualitativ ungeeignet zurückweisen.

Folgendes Beispiel soll demonstrieren, welche typischen Optimierungsfragestellungen durch eine Immissionsprognose mit erträglichem Aufwand beantwortet werden können (Ein weiteres Beispiel für Standortbewertungen durch Immissionsberechnungen wurde bereits in Kapitel 7.2.6 vorgestellt):

Aufgrund der Anfrage eines Netzbetreibers, der auf einem der vier Flutlichtmasten des Stadions einer oberbayerischen Gemeinde eine Mobilfunksendeanlage errichten wollte, wurden Prognoseberechnungen für die möglichen Standortalternativen (vier Flutlichtmasten) durchgeführt. Bewertungskriterium war eine Minimierung der Immission am Rand der nördlich und südlich gelegenen Wohnbebauung. Das Szenario ist in Abbildung 7.15 dargestellt. Zur Immissionsbewertung wurden die Felder ermittelt, die an fünf besonders exponierten Punkten in der am nächsten gelegenen Wohnbebauung entstehen.

Die Berechnungen ergaben, dass Alternative C2 an den betrachteten Punkten in der angrenzenden Wohnbebauung im Mittel die geringste Immission erzeugt. Damit wurde es der Gemeinde ermöglicht, einen qualifizierten Standortwunsch an den Betreiber zu richten.

Es sei auch darauf hingewiesen, dass das offensive Anbieten eigener Liegenschaften ebenfalls als ein Instrumentarium zur Immissionsminimierung angesehen werden kann, wenn im Vorfeld besonders geeignete Standorte beispielsweise unter Berücksichtigung der in den Kapiteln 7.2.1 bis 7.2.8 vorgestellten Bewertungskriterien ausgewählt wurden. Zum einen kann die Kommune bei eigenen Standorten im Rahmen des zivilrechtlichen Pachtvertrages eventuell gewünschte Restriktionen vereinbaren (z.B. kann vom Betreiber verlangt werden, dass der Standort möglichst immissionsminimierend zu realisieren ist, was die Kommune bei Standorten, an denen sie kein Eigentümer ist, nicht fordern kann). Werden dem Betreiber durch die Kommune funktechnisch brauchbare und immissionstechnisch günstige Standorte angeboten, wird er diese sicherlich nutzen und dadurch auf den einen oder anderen ungünstigeren Standort verzichten können.

7.3 Minimierungsmöglichkeiten bei vorhandenen Standorten

In diesem Abschnitt sollen noch einige spezielle Maßnahmen vorgestellt und diskutiert werden, die bei bereits errichteten Standorten eine Verringerung der Immissionen in der Umgebung mit sich bringen können. Allerdings unterliegen die vorgeschlagenen Maßnahmen häufig den Restriktionen der Funktechnik, d.h. meist führen sie zu einer Veränderung der Funkversorgung in der Umgebung. Falls es sich dabei um eine Verschlechterung der Netzqualität (z.B. durch Entstehen von Versorgungslücken oder durch eine Zunahme der interferenzbedingten Störungen) handelt, kann davon ausgegangen werden, dass die Betreiber die vorgeschlagenen Maßnahmen nicht akzeptieren. Dennoch sind im Einzelfall durchaus Kompromisse möglich, wie Beispiele zeigen.

Die im folgenden vorgestellten Möglichkeiten sind natürlich nicht auf vorhandene Anlagen beschränkt, sie können prinzipiell auch bei neuen Standorten zur zusätzlichen Immissionsoptimierung angewendet werden.

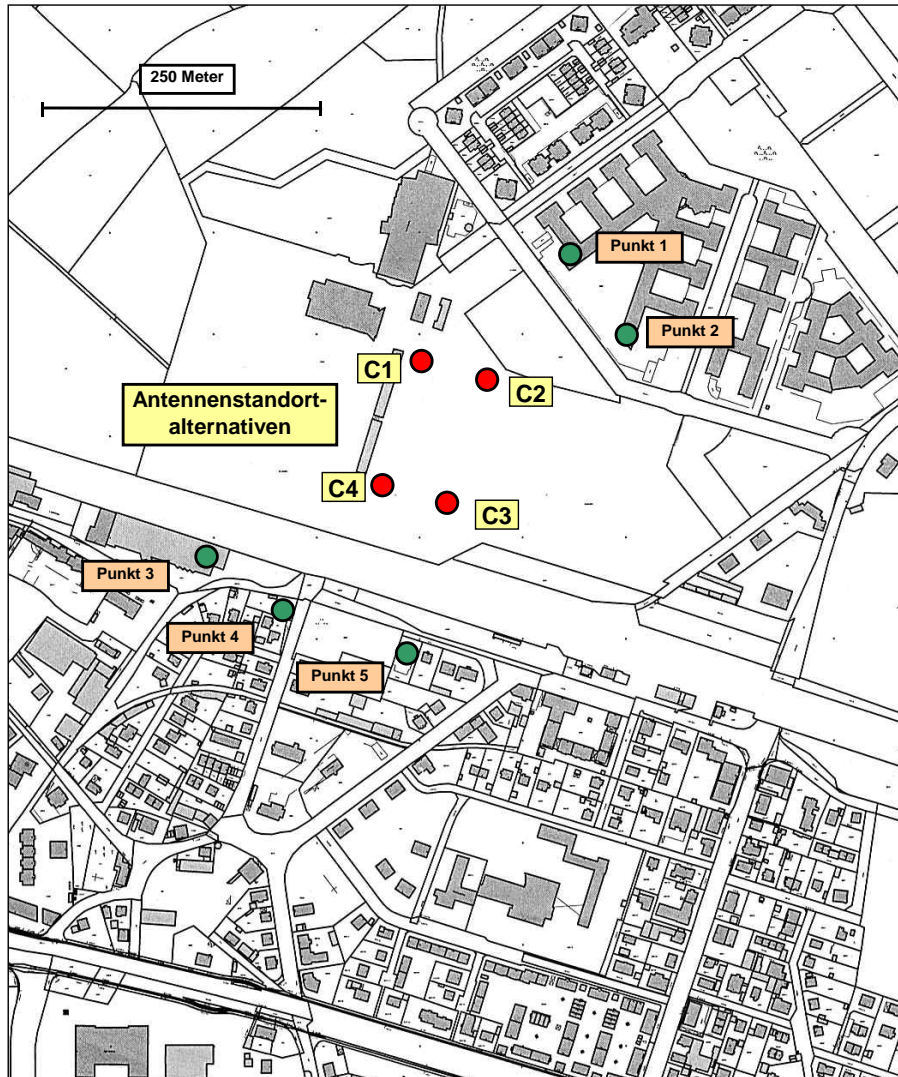


Abb. 7.15: Rechnerische Immissionsbewertung für vier Standortalternativen.

7.3.1 Verringerung des Einflusses von vertikalen Nebenkeulen

In Kapitel 4.1.3 wurde bereits erläutert, dass die ortsbezogenen "Immissionsspitzen" im Nahbereich signifikant durch die Ausprägung der Nebenkeulen im vertikalen Diagramm der Mobilfunkantennen beeinflusst werden können. Der Einsatz von Antennen mit möglichst schwach ausgeprägten Nebenkeulen wäre also günstiger. Hier sind natürlich vor allem die Betreiber gefordert, derartige Antennen bevorzugt einzusetzen bzw. die Entwicklung nebenkeulenoptimierter Antennen zu fördern.

Allerdings kann zumindest bei einer Montage von Antennen auf Hochhausdächern durch optimierte Anordnung der Mobilfunkantennen der Einfluss der Nebenkeulen im Nahbereich minimiert werden. Als günstiger erweist sich häufig eine Montage des Antennenträgers in der Dachmitte und nicht an der Dachkante, denn bei mittiger Montage wird die Abstrahlung über

relativ steil nach unten gerichtete Nebenkeulen durch das Gebäudedach verhindert oder zumindest abgeschwächt, während bei Kanten- oder auch bei Mastmontage dies nicht der Fall ist (Abbildung 7.16). Die ortsbezogene Immission nahe liegender Nachbargebäude kann dadurch verringert werden. Auf die durchschnittliche Immission in der Umgebung hat diese Optimierung jedoch keinen nennenswerten Einfluss.

Allerdings wird vorausgesetzt, dass das Dach des Gebäudes, auf dem die Antennen montiert sind, eine gute Abschirmwirkung besitzt, so dass durch die Verschiebung der Antennenträger nicht plötzlich die Wohnungen im obersten Stockwerk durch die Nebenkeulen überdurchschnittlich exponiert werden. Insbesondere bei Penthousewohnungen, Dachterrassen oder vorhandenen Lichtschächten ist Vorsicht geboten. Will man hingegen gerade diese Wohnbereiche minimieren, dann ist natürlich das genau umgekehrte Konzept, also die Dachkantenmontage der Antennen, zu bevorzugen.

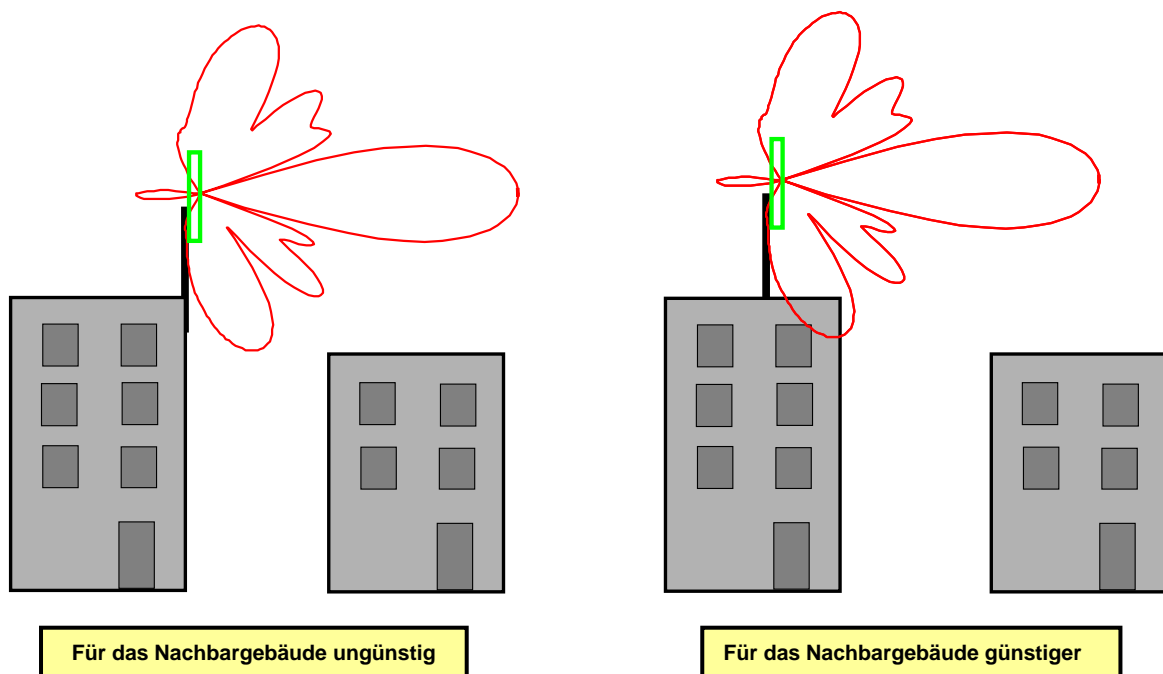


Abb. 7.16: Verminderung der Nebenkeulenabstrahlung durch Dachmittenmontage.

Bei sehr großen Gebäudekomplexen kann allerdings eine Montage der Antennen in Dachmitte dazu führen, dass entweder die Hauptkeule noch auf das Dach trifft, was sowohl aus versorgungstechnischen Gründen als auch aus Sicht der Immissionsminimierung eher als ungünstig erscheint, oder dass der Zentralmast sehr hoch sein muss, was eventuell aus statischen oder optischen Gründen nicht akzeptabel sein kann.

7.3.2 Veränderung der horizontalen Antennenausrichtung sowie der vertikalen Strahlabsenkung (Downtilt)

Soweit keine Aspekte der Versorgungsqualität dagegen sprechen, ist es möglich durch Veränderungen der horizontalen und vertikalen Hauptsenderrichtungen der Antennen eines Mobilfunkstandortes die Immissionsspitzen an bestimmten Punkten zu minimieren. Insbesondere bei Veränderung des vertikalen Tiltwinkels der Antennen ist sogar eine Reduzierung der mittleren flächenbezogenen Immission denkbar (siehe Kapitel 6.5). Derartige Optimierungen können nur im engen Dialog mit dem Betreiber erfolgen, da dieser prüfen muss, ob er die gewünschten Veränderungen mit seinen Qualitätsstandards vereinbaren kann. Dass es hier bei beidseitigem Einvernehmen durchaus zu Erfolgen kommen kann, soll durch folgendes Beispiel belegt werden:

An einem Mobilfunkstandort in einer nordbayerischen Stadt ist die Erweiterung einer bestehenden GSM-Sendeanlage mit Systemen für den neuen UMTS-Mobilfunk geplant. Allerdings befinden sich im Umkreis von weniger als hundert Meter zur Anlage zwei Kindertagesstätten und eine Schule. Da die Antennen des Standortes auf einem relativ niedrigen Gebäudedach (Montagehöhe 15,7 Meter über Grund) montiert und zusätzlich die vertikale Hauptsenderrichtung um 7 Grad nach unten abgesenkt war, bestand die Befürchtung, dass überdurchschnittlich hohe Immissionen in der näheren Umgebung des Standortes auftreten.



Abb. 7.17: Betrachteter Mobilfunkstandort.

Im Rahmen der Standortabstimmung zwischen Kommune und Netzbetreibern wurde beschlossen, durch Verwendung anderer Antennentypen sowie durch eine Veränderung der ho-

horizontalen und vertikalen Ausrichtung der Antennen die Immissionen im Bereich der benachbarter Kindertagesstätten bzw. der Schule möglichst zu minimieren (Eine Erhöhung des Antennenträgers war technisch nicht möglich).

Folgende Tabelle gibt an, wie die immissionsrelevanten Parameter verändert wurden:

Situation	Horizontale Hauptsenderrichtungen	Downtilt GSM	Downtilt UMTS
Vorher	60°/180°/300°	7°	-
Nachher	0°/120°/240°	2°	2°

Tab. 7.2: Veränderung der immissionsrelevanten Parameter.

Mittels dieser Maßnahmen sollte erreicht werden, dass trotz Erweiterung des Standortes mit UMTS an den besonders relevanten Orten in der Umgebung weniger Immissionen auftreten, als es vorher der Fall war. Die Wirksamkeit der Maßnahmen wurde durch Messungen vor und nach Umbau des Standortes überprüft. Es ergaben sich dabei folgende Resultate:

Messpunkt Nr.	Entfernung zum Antennenstandort	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert vor Optimierung	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert nach Optimierung	Auf wie viel Prozent des bisherigen Wertes konnte die Immission verringert werden	Verringerungsfaktor
1	Ca. 35 m	4,1 %	3,5 %	85 %	1,17
2	Ca. 38 m	2,1 %	0,8 %	38 %	2,63
3	Ca. 80 m	14,9 %	3,9 %	26 %	3,82
4	Ca. 70 m	11,7 %	3,3 %	28 %	3,55
5	Ca. 80 m	14,2 %	3,3 %	23 %	4,30

Tab. 7.3: Festgestellte Immissionswerte (vor bzw. nach Optimierung der Anlage).

Trotz der zusätzlichen Inbetriebnahme von UMTS am Standort, konnte an allen besonders relevanten Punkten in der Umgebung die Immission durch die Antennenoptimierung im Mittel um etwa 8 dB verringert werden. Die Resultate der Messungen sind in Abbildung 7.18 nochmals graphisch dargestellt:

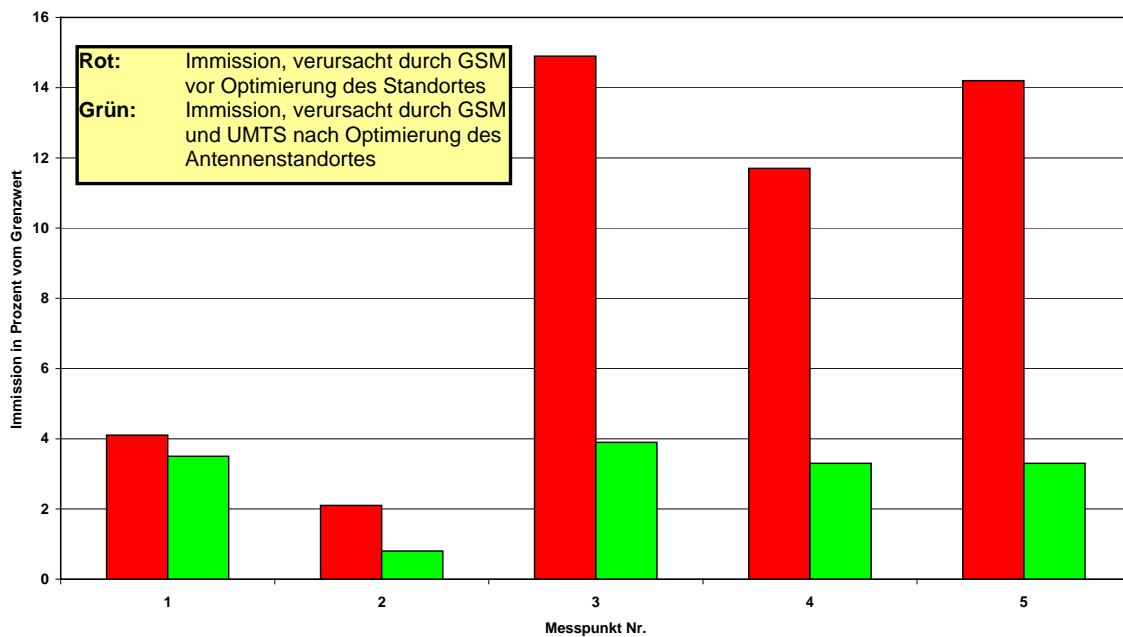


Abb. 7.18: Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 7.3.

Besonders gut ausgeprägt ist der Optimierungserfolg also an den Punkten, die bisher deutlich am stärksten exponiert waren.

7.3.3 Verwendung von Antennen mit kleinem vertikalen Öffnungswinkel

In Kapitel 6.4.2 wurde diese Maßnahme bereits ausführlich diskutiert. Insbesondere der Nahbereich um einen Antennenstandort lässt sich durch Antennen mit kleinem vertikalen Öffnungswinkel meist entlasten (es sei denn, die relevanten Immissionsorte befinden sich in der vertikalen Hauptstrahlrichtung der Antennen). Allerdings besitzen derartige Antennen deutlich größere mechanische Abmessungen, so dass die optische Sichtbarkeit des Standortes und damit die subjektive "Bedrohungswirkung" zunimmt. Zusätzlich sind also durch geeignete Informationen eventuell aufkommende besondere Beunruhigungen zu entkräften.

Das linke Photo in Abbildung 7.19 zeigt einen GSM900-Standort, der zwar durch Verwendung kleiner Antennen und niedriger Montage eine relativ geringe Sichtbarkeit aus größerer Entfernung besitzt, aus der Sichtweise der Immissionsminimierung wäre allerdings die Verwendung größerer Antennen mit besserer Vertikalbündelung sowie ein höherer Montageort, beispielsweise auf dem Dach des benachbarten Gebäudes die bessere Alternative. Ähnlich verhält es sich mit dem Standort auf dem rechten Photo: Die Antenne wurde auf dem niedrigsten Gebäude der Umgebung montiert.



Abb. 7.19: Zwei Beispiele für nicht immissionsoptimierte Standorte (GSM900).

Anzumerken ist natürlich, dass größere und damit schwerere Antennen nicht für jeden Standort geeignet sind, da statische Randbedingungen (Windlast, Tragfähigkeit des Daches) natürlich eingehalten werden müssen.

7.3.4 Erhöhung des Antennenträgers

Im Rahmen einer Immissionsmesskampagne in Augsburg wurde bei einer Situation ähnlich der in Abbildung 7.10 auf der Dachterrasse einer Penthauswohnung eine überdurchschnittlich hohe Mobilfunkexposition gemessen. Es fanden sich dort etwa 27,9 Prozent vom Grenzwert (bei maximaler betrieblicher Anlageauslastung). Dies ist gleichzeitig der höchste Messwert, der in der Datenbank (1.229 Messpunkte) dokumentiert ist (siehe Tabelle 5.5 in Kapitel 5.3.2). Das linke Photo in Abbildung 7.20 zeigt die für die Immission hauptsächlich verantwortliche Antenne, von der Dachterrasse der betroffenen Wohnung aus gesehen. Die Entfernung beträgt etwa 34 Meter.



Abb. 7.20: Antennenstandort (links vor und rechts nach der Optimierung) vom kritischen Immissionspunkt aus gesehen.

Aufgrund dieses Messresultates wurde im Rahmen eines "Runden Tisches" mit dem verantwortlichen Netzbetreiber vereinbart, durch bauliche Maßnahmen die Immission im Bereich der betrachteten Wohnung möglichst deutlich zu reduzieren. Daraufhin wurden umfangreiche Simulationsrechnungen für verschiedene Handlungsalternativen durchgeführt. Zur Diskussion standen:

- Verschieben des Antennenträgers so weit als möglich nach Westen (d.h. auf dem obigen Photo nach rechts),
- Verwendung anderer Antennentypen mit kleinerem horizontalen Öffnungswinkel, so dass der Bereich der Dachterrasse nicht mehr so deutlich in die horizontale Hauptsenderichtung der Antenne fällt,
- Drehen der Hauptsenderichtung um 40 Grad, so dass ebenfalls die Dachterrasse die horizontale Hauptsenderichtung der Antenne verlässt,
- Erhöhen des Antennenträgers so weit als statisch möglich, um den vertikalen "Nahbereichsschatten" der Antenne auszunützen.

Die Berechnungsergebnisse zeigten, dass bei allen vier Varianten eine Verringerung der Immission im Bereich der betrachteten Wohnung erwartet werden kann. Allerdings konnte auch festgestellt werden, dass die Variante "Erhöhen des Antennenträgers" mit Abstand zur größten Verringerung der Immission führt. Eine Erhöhung um 4 Meter brachte bei den Berechnungen eine Verringerung der Exposition auf der Dachterrasse um etwa 14 dB (d. h. etwa um den Faktor 5 bezüglich der Feldstärke bzw. des Prozentwertes vom Grenzwert). Bei den anderen drei Varianten waren Reduktionen von nur etwa 1 bis 5 dB erzielbar.

Aufgrund der eindeutigen Simulationsergebnisse wurde vom Betreiber der Antennenmast um etwa fünf Meter erhöht. Die Situation nach dem Umbau ist im rechten Photo von Abbildung 7.20 zu sehen.

Eine inzwischen durchgeführte Überprüfungsmessung im Bereich der betroffenen Wohnung führte zu den in Tabelle 7.4 dokumentierten Ergebnissen:

Messpunkt	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert vor Optimierung	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert nach Optimierung	Auf wie viel Prozent des bisherigen Wertes konnte die Immission verringert werden	Verringerungsfaktor
Dachterrasse	27,9 %	5,0 %	82 %	5,58
Wohnzimmer	12,2 %	5,2 %	57 %	2,35

Tab. 7.4: Festgestellte Immissionswerte (vor bzw. nach Optimierung der Anlage).

Es gelang also, durch die Erhöhung des Antennenträgers insbesondere die Immission auf der besonders hoch exponierten Dachterrasse erheblich zu verringern. Die dort gemessenen Feldstärkewerte nach dem Umbau entsprechen sehr gut den im Rahmen der Prognose errechneten Werten.

7.4 Zusammenfassung

Grundsätzlich zeigen die Überlegungen in Kapitel 7.2 und 7.3, dass leider keine pauschale Strategie zur Immissionsminimierung existiert, die immer erfolgreich angewendet werden kann und bei der auch die Qualität der Funkversorgung nicht nennenswert beeinträchtigt wird. Meist ist, je nach konkretem Einzelfall, die eine oder eine andere Option als günstigster Weg empfehlenswert. Für die Kommune und die Netzbetreiber besehen also eventuell mehrere Möglichkeiten und Wege, ihre differierenden Anforderungen im Konsens unter einen Hut zu bringen.

Im Überblick sind alle in den letzten beiden Kapiteln angesprochenen Minimierungsmaßnahmen in der folgenden Tabelle zusammenfassend dargestellt. Es wird dort auch jeweils deren Einfluss auf lokale "Immissionsspitzen" sowie auf die mittlere flächenbezogene Immission dargestellt. Zusätzlich ist angegeben, welchen Einfluss die Maßnahme auf die Immission des Telefonierers ausübt. Zu beachten ist allerdings, dass die komplexen Zusammenhänge in dieser Tabelle nur stark verkürzt dargestellt werden können. Es müssen daher immer zusätzlich die Anmerkungen in den Kapiteln 7.2 und 7.3 sowie teilweise auch die Ausführungen in den anderen Abschnitten dieses Berichtes reflektiert werden.

Maßnahme	Einfluss auf ortsbezogene "Immissionsspitzen"	Einfluss auf mittlere Immission	Einfluss auf Immission beim Telefonieren	Bemerkungen (z.B. Netzqualität, visuelle Wahrnehmbarkeit der Antennen)
Standorte im Außenbereich (7.2.1)	Positiv, wenn der Abstand zum Ort groß genug ist.	Positiv, wenn der Abstand zum Ort groß genug ist.	Negativ	Typisch mehrere 100 Meter Abstand zum bebauten Gebiet notwendig. Nur für Einzelstandorte oder in kleinen Kommunen machbar (Probleme bei der Netzabdeckung).
Pauschale Freihaltebereiche um "empfindliche Einrichtungen" (7.2.2)	Positiv (Bei zu kleinen Freihaltebereichen ist allerdings auch eine Verschlechterung möglich).	Abhängig vom Einzelfall	Abhängig vom Einzelfall	Große Freihaltebereiche können den Aufbau eines Mobilfunknetzes insbesondere in Städten unmöglich machen.
Ausnutzen des Nahbereichsschattens (z.B. Antennen direkt auf das Dach einer Schule) (7.2.3)	Positiv (wenn sich der Nahbereichsschatten durch ausreichend hohe Montage gut ausbilden kann).	Abhängig vom Einzelfall	Abhängig vom Einzelfall	Einzelfallprüfung dringend empfohlen, Verschlechterung durch Nebenkeulen möglich. Akzeptanzprobleme in der Öffentlichkeit.
Hohe Standorte (7.2.4 und 7.3.4)	Positiv (wenn Umgebung deutlich niedriger).	Positiv (wenn Umgebung deutlich niedriger).	Positiv	Begrenzung durch funktechnische Aspekte (Überreichweiten, Interferenzen), Psychologische Wirkung aufgrund erhöhter Sichtbarkeit.
Standortkonzentration (7.2.5)	Positiv (wenn Konzentrationsstandorte hoch gelegen sind).	Positiv (wenn Konzentrationsstandorte hoch gelegen sind).	Abhängig vom Einzelfall	Begrenzung durch funktechnische Aspekte (Überreichweiten, Interferenzen), Psychologische Wirkung aufgrund erhöhter Sichtbarkeit.
Verteiltes Senderkonzept (auch Repeater) (7.2.6)	Positiv	Positiv	Positiv	Kostenintensiv, Verschlechterung des Effektes, wenn die Antennen niedriger montiert werden als bei üblichen Standorten.
Keine Sicht zum Antennenstandort (7.2.7)	Positiv	Abhängig vom Einzelfall	An den Orten ohne Sicht eher negativ	Nur für einzelne ausgewählte Orte realisierbar, da Mobilfunkstandorte eine Mindestsichtbarkeit besitzen müssen. Vorsicht bei Abschattungen durch Gebäude: Lokale Immissionspitzen im Gebäude möglich.

Maßnahme	Einfluss auf ortsbezogene "Immissionsspitzen"	Einfluss auf mittlere Immission	Einfluss auf Immission beim Telefonieren	Bemerkungen (z.B. Netzqualität, visuelle Wahrnehmbarkeit der Antennen)
Immissionsoptimierung durch Prognoseberechnungen bei Standortalternativen (7.2.8)	Positiv	Positiv	Abhängig vom Einzelfall	Einfache rechnerische Prognosen kostengünstig durchführbar. Optimierung der mittleren Immission insbesondere bei vielen vorhandenen Standorten schwierig und daher sehr kostspielig.
Verringerung des Einflusses von vertikalen Nebenkeulen (7.3.1)	Positiv	Gering	Gering	Optimale Vorgehensweise stark situationsabhängig.
Optimierung der horizontalen Ausrichtung und des vertikalen Tiltwinkels (7.3.2)	Positiv	Abhängig vom Einzelfall	Abhängig vom Einzelfall	Begrenzung durch funktechnische Aspekte (Überreichweiten, Interferenzen).
Verwendung von Antennen mit kleinem vertikalen Öffnungswinkel (7.3.3)	Positiv	Positiv insbesondere im Nahbereich	Abhängig vom Einzelfall	Begrenzung durch funktechnische Aspekte (Überreichweiten, Interferenzen), Psychologische Wirkung aufgrund erhöhter Sichtbarkeit. Eventuell statische Probleme durch größere Bauhöhe und höheres Gewicht.

Tab. 7.5: Zusammenfassende Bewertung von Maßnahmen zur Immissionsoptimierung.

7.5 Beispiel für ein Verfahren zur Standortbewertung unter Minimierungsgesichtspunkten

Der UMTS-Netzausbau ist derzeit deutschlandweit in vollem Gange. Aber auch im Bereich der GSM-Netze werden noch immer neue Standorte errichtet. Daher sind insbesondere größere Kommunen häufig mit Standortanfragen von Mobilfunknetzbetreibern konfrontiert. Für die Kommunalverwaltung entsteht bei jeder Anfrage das Entscheidungsproblem, ob ein vom Betreiber vorgeschlagener neuer Senderstandort aus Sicht der Immissionsminimierung eine günstige Wahl darstellt und diesem daher mit gutem Gewissen zugestimmt werden kann oder ob es sinnvoll ist, zusammen mit dem Betreiber nach günstigeren Alternativen zu suchen. Zudem ist die Kommune meist aufgefordert, möglichst kurzfristig eine Stellungnahme abzugeben, da der Netzausbau nicht beliebig verzögert werden soll.

Die Verwaltung muss also innerhalb kurzer Zeiträume entscheiden, ob dem Standortvorschlag zugestimmt werden kann oder ob Gegenvorschläge unterbreitet werden sollen. Um diese Aufgabe zu bewältigen sind verschiedene Lösungsansätze denkbar:

- Die Kommune beschränkt sich bei ihrer Prüfung auf die Einhaltung der Grenzwerte nach 26. BImSchV. In diesem Fall ist die Entscheidung einfach: Ein Betreiber wird keinen Standort vorschlagen, bei dem die vorgesehenen Anlagen einen Konflikt mit der 26. BImSchV erzeugen würden, denn in diesem Fall würde die Regulierungsbehörde keine Standortbescheinigung erteilen, so dass eine Inbetriebnahme des Standortes nicht zulässig wäre. Derzeit beschränkt sich die überwiegende Zahl der Kommunen auf die Einhaltung der 26. BImSchV, denn nur dieses Kriterium ist für den Netzbetreiber letztendlich rechtsverbindlich und damit zwingend.
- In den letzten Jahren häufen sich allerdings die Bestrebungen in den Kommunen, bei der Beurteilung von Mobilfunkstandorten einen strengeren Maßstab anzuwenden. Unterstützt wird dies auch durch die Minimierungsempfehlungen der SSK [SSK 01]. Jedoch ist es für eine einzelne Kommune, einen Landkreis oder ein Bundesland nicht möglich, allgemein verbindliche verschärfte Immissionsrichtlinien für den Mobilfunk aufzustellen, da dies ausschließlich in der Kompetenz des Bundes liegt.
- Allerdings besteht die Möglichkeit, bei der Vermietung kommunaler Grundstücke und Liegenschaften im Rahmen der privatrechtlichen Vertragsgestaltung von den Betreibern die Einhaltung verschärfter Regelungen zu verlangen.
- Obwohl bei allen anderen Standorten die Kommune also keine rechtliche Handhabe besitzt, verbindliche Vorschriften zum Zweck der Immissionsminimierung zu erlassen, besteht dennoch die Möglichkeit einer Gestaltung im Rahmen der inzwischen in vielen größeren Kommunen entstandenen "Runden Tische". Hier handelt es sich um Arbeitsgremien, die meist mit Mitgliedern der Verwaltung, Fachexperten, Vertretern der Netzbetreiber und Bürgern besetzt sind und deren Aufgabe darin besteht, durch einen verbesserten Dialog zwischen Netzbetreiber und Kommune die Akzeptanz des Mobilfunks in der Öffentlichkeit zu fördern, Konflikte zu entschärfen und bei Einzelfällen Kompromisslösungen zwischen Betreiber und Kommune zu erarbeiten. Am ef-

fizientesten sind diese "Runden Tische" in der Regel in den größeren Kommunen, da aufgrund der meist größeren Anzahl an neu zu errichtenden Standorten sowohl bei den Betreibern mehr Kompromissbereitschaft besteht als auch die Kommune eine bessere Verhandlungsposition besitzt als es bei kleinen Gemeinden der Fall ist. Allerdings funktionieren derartige Arbeitskreise nur dann, wenn bei allen Beteiligten Konsens darüber besteht, dass der Mobilfunk grundsätzlich akzeptiert und auch in der üblichen Versorgungsqualität gewünscht wird, und man als Aufgabe sieht, einzelne Problemfälle einvernehmlich zu lösen. In derartigen Arbeitskreisen wird also nicht mehr über grundsätzlicher Fragen der gesundheitlichen Wirkung von Mobilfunkimmission oder gesellschaftliche Grundfragestellungen bezüglich des Nutzens von Mobilfunk im allgemeinen diskutiert, sondern versucht, durch konstruktive Arbeit konkrete Standortprobleme zu lösen. Dies kann nur durch ein gegenseitiges Geben und Nehmen zwischen Betreiber und Kommune funktionieren.

Welche Minimierungsansätze sind praktikabel und erfolgversprechend?

Es wurde bereits mehrfach darauf hingewiesen, dass für eine Minimierung der Immissionen in der Umgebung von Mobilfunkbasisstationen prinzipiell die folgenden drei Herangehensweisen möglich sind:

1. Minimierung von Immissionsspitzen an definierten Orten in unmittelbarer Nähe eines Anlagenstandortes (ortsbezogene Immission).
2. Minimierung der Gesamtimmission durch Reduzierung der Sendeleistung einer Anlage.
3. Minimierung der mittleren Immission in einer begrenzten Fläche um den Anlagenstandort.

Methode 2 führt zu dem bereits vorgestellten verteilten Senderkonzept, es handelt sich also um eine grundsätzliche Aufbaustrategie von Mobilfunknetzen. Die Entscheidung, ob eine derartige Strategie in einer Region angewendet werden soll, liegt typischerweise allein beim Betreiber, da hier eine wesentliche Strukturentscheidung getroffen wird, die sich erheblich auf die Kosten für den Netzbau auswirkt. Im Rahmen von "Runden Tischen" wird diese Grundsatzentscheidung wohl nie zur Debatte stehen.

Ähnlich verhält es sich bei UMTS mit der Entscheidung des Betreibers, ob er sein Netz in der bisher allgemein üblichen Art mittels vieler verteilter Einzelstandorte auf nicht zu hohen Dächern und Masten oder (wie im UHS-Konzept von E-Plus) mittels Anlagen, die in sehr großer Höhe auf exponierten Türmen installiert werden, realisiert.

Die Minimierung der flächenbezogenen Immission (Punkt 3) führt in den meisten Fällen schnell zu einem sehr großen Aufwand bei den Simulationsrechnungen, so dass diese Strategie nur in Ausnahmefällen, wenn es beispielsweise um einen oder sehr wenige Standorte geht, herangezogen werden kann. In Kapitel 6.1 wurde zudem darauf hingewiesen, dass es genau genommen sehr schwierig ist, die Aufgabenstellung "Minimierung der mittleren Immission in der Fläche" zu konkretisieren. Die hohen Kosten, die derartige Projekte mit sich bringen wür-

den, sind in Zeiten allgemeiner Finanznöte der Kommunen ebenfalls kaum tragbar. In [MÜN 03] wird von Kosten in der Größenordnung von etwa 2 bis 3 Euro je Einwohner für Immissionsuntersuchungen vergleichbar zum "Gräfelinger Modell" [SICTA 04] gesprochen.

Als prinzipiell durchführbar erweist sich hingegen Methode 1, bei der keine komplexen Überlegungen zur flächenhaften Minimierung angestellt werden, sondern als Ziel definiert wird, möglichst an den Punkten in der Umgebung der Standorte, die besonders exponiert oder die von besonderem Interesse sind, eine Verringerung der Immission zu erreichen. An dieser Strategie orientiert sich beispielsweise die Schweiz mit ihrem Konzept der "Anlagegrenzwerte" (siehe Kapitel 5.4.1). Die Schweizer Vorgehensweise wird bereits von einigen Kommunen in mehr oder weniger stark abgewandelter Form angewendet. Erfolgversprechend ist diese Herangehensweise hauptsächlich deswegen, weil die bisherigen Erfahrungen in der Schweiz zeigen, dass das Konzept der bezüglich der elektrischen Feldstärke etwa um den Faktor 10 verschärften Grenzwerte für ausgewählte Bereiche ("Orte mit empfindlicher Nutzung"; Definition: siehe Kapitel 5.4.1) grundsätzlich anwendbar ist, ohne dass eine qualitativ hochwertige Mobilfunkversorgung unmöglich wird.

Die Auswertung der Messungen in Kapitel 5.4.1 sowie die Simulationsrechnungen in Abschnitt 6.2 zeigen allerdings auch, dass Minimierungsansätze, die deutlich strengeren Richtwerten als denen der Schweiz folgen, in der Praxis scheitern müssen, wenn man die derzeit übliche Versorgungsqualität des Mobilfunks beibehalten will (d.h. Indoorversorgung). Insbesondere die "Salzburger Empfehlung" wird bis heute in keiner größeren Kommune als Richtschnur wirklich durchgehalten, nicht einmal im Bundesland Salzburg selbst [COR 02]. Auch Konzepte aus Bayern, wie beispielsweise das "Gräfelinger Modell" versuchen zwar, sich an der "Salzburger Empfehlung" (1 Milliwatt/m²) zu orientieren, jedoch zeigt eine intensivere Prüfung der für Gräfelting durchgeführten Simulationsrechnungen, dass bei Realisierung des vorgeschlagene Standortmodells auf keinen Fall die "Salzburger Empfehlung" in allen bebauten Bereichen (Wohngebiete) von Gräfelting unterschritten würde (Bis heute wurde das "Gräfelinger Modell" auch nicht in die Praxis umgesetzt). Im Rahmen eines, im März 2004 in der Schweiz durchgeführten Workshops zum "Modell Gräfelting" wird als Begründung dafür angegeben, dass die von den Gutachtern verwendeten Berechnungsmodelle zu optimistisch angelegt sind und daher die entstehende Immission deutlich unterschätzt wird. Zudem war die durchführende Firma im Rahmen dieses Workshops nicht in der Lage anzugeben, mit welchen Berechnungsmodellen ihr Prognoseprogramm überhaupt arbeitet [SICTA 04].

Auch die Ergebnisse der Immissionsmessungen in Kapitel 5.4.1 zeigen deutlich, dass zur Einhaltung der "Salzburger Empfehlung" entweder Abstände zur Wohnbebauung von mehr als etwa 800 Meter eingehalten werden müssen, was die Indoor-Funkversorgung im Ortskern dann erheblich in Frage stellt, oder dass die Sendeleistung der einzelnen Stationen drastisch verringert werden muss, was wiederum zur Errichtung vieler neuer Füllsender führt.

Eine aktuelle Untersuchung, die im Auftrag der Stadt Waiblingen bei Stuttgart durchgeführt wurde, zeigt, dass eine Einhaltung einer Mindestentfernung von 200 Meter bei "sensiblen Orten" und zusätzlich die Unterschreitung der "ECOLOG-Empfehlung" im gesamten Stadtgebiet zu Freihaltebereichen führt, die nahezu das gesamte Stadtgebiet bedecken [MÜL 04].

Hingegen kann eine Strategie vergleichbar mit der Schweizer Vorhergehensweise zu einem tragbaren Kompromiss aus Immissionsminimierung und funktionierender Mobilfunkversorgung führen, so dass die Aussicht besteht, dass eine derartige Vorgehensweise auch bei den Netzbetreibern Akzeptanz findet. Aus diesem Grund soll im folgenden, in Anlehnung an reale Vorgehensweisen einiger Kommunen, ein Konzept vorgestellt werden, das möglichst kostensparend ausgelegt ist und gleichzeitig eine vereinfachte Prüfung der vorgelegten Standortplanungen nach Schweizer Muster ermöglicht.

An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass hier nicht die Einführung von Grenzwerten unterhalb der 26. BImSchV vorgeschlagen wird, sondern dass es um Bewertungsstrategien bei der Beurteilung von Standortanfragen geht. Mittels einem, hier an die Schweizer "Anlagegrenzwerte" angelehnten Beurteilungsmodells soll es vielmehr der Kommune ermöglicht werden, relativ einfach zu entscheiden, ob eine bestimmte Standortanfrage positiv bewertet werden soll oder ob tiefer gehende Prüfungen erfolgen sollen, die beispielsweise zu Vorschlägen von Standortalternativen führen können. Durchaus kommt es in der Praxis auch vor, dass trotz intensiver Diskussion mit dem Betreiber offensichtlich kein geeigneter Alternativstandort gefunden werden kann, so dass die zunächst vorgeschlagene Alternative doch realisiert werden muss, obwohl sie bezüglich der Immission nicht die optimale Wahl darstellt. Umgekehrt kann es auch sein, dass ein aus Sicht der Immission unkritischer Standort aufgrund besonderer Befindlichkeiten der Bürger nicht realisiert, sondern einer aus Sicht der Immissionsminimierung eher ungünstigeren Alternative der Vorzug gegeben wird (ein Vorgang, der allerdings möglichst vermieden werden sollte).

Die im folgenden vorgeschlagenen Vorgehensweisen und Bewertungsstrategien erscheinen uns aufgrund der Erfahrungen durch die Teilnahme an vielen verschiedenen Arbeitsgruppensitzungen und "Runden Tischen" in Kommunen als durchaus praktikable Wege, wobei sicherlich niemals in allen Fällen eine völlige Befriedigung beider Interessen (Kommune und Betreiber) zu erwarten ist, jedoch sich bisher auch keine besseren Verfahren in der Praxis aufgedrängt geschweige denn bewährt haben, was nicht heißen soll, dass nicht in manchen Kommunen erfolgreich ein Konsens regelmäßig auf anderen als den hier vorgeschlagenen Wegen erzielt werden kann.

Voraussetzung: Eindeutige Definition der Beurteilungskriterien

Um eine Standortbeurteilung exakt und verlässlich durchführen zu können, muss dem Bewertenden möglichst exakt vorgegeben werden, nach welchen Kriterien die Beurteilung vorzunehmen ist. Aussagen, wie "die Immissionen sollten besonders niedrig sein" oder "der Standort soll in der Umgebung die Schweizer Grenzwerte einhalten" sind hier bei weitem nicht ausreichend. Vielmehr ist wichtig, genau festzulegen, für welchen Betriebszustand der Anlagen und an welchen Stellen die Immissionen berechnet bzw. gemessen werden sollen und mit welchen Grenzwerten sie verglichen werden sollen. Günstig ist es, wenn der Beurteilende möglichst wenig Bewertungsspielraum bekommt, weil dieser erfahrungsgemäß nur zu nachträglichen Diskussionen führt.

Orientiert man sich an der Schweiz, ist es natürlich am einfachsten, man übernimmt unverändert die Definitionen und Inhalte der Schweizer Verordnung und ihrer Durchführungsbestimmungen.

mungen, da diese sich ja inzwischen in der Schweiz durchaus bewährt haben. Allerdings zeigt sich dann sehr schnell, dass bei einer hundertprozentigen Übernahme der Schweizer Vorgaben sehr aufwändige, zeitraubende und teure Untersuchungen notwendig werden. Daher haben viele Kommunen das Schweizer Bewertungskonzept mehr oder weniger stark "abgespeckt". Beispielsweise wird häufig die Einhaltung der Schweizer "Anlagegrenzwerte" nur für Schulen, Kindergärten, Altenheime oder Krankenhäuser gefordert und nicht mehr für alle Wohnungen und sonstige Innenräume an denen Menschen sich dauerhaft aufhalten. Durch eine derartige Einschränkung wird der Aufwand für die Standortbeurteilung deutlich vermindert.

Fall 1: Standortanfragen bei Grundstücken und Liegenschaften, die der Kommune gehören.

Hier kann die Kommune recht einfach die Nachweispflicht und damit die Kosten für die Untersuchungen den Betreibern zuschieben. Im Rahmen des privatrechtlichen Pachtvertrages kann beispielsweise die Vorlage eines Sachverständigengutachtens vereinbart werden, das die Einhaltung der Schweizer "Anlagegrenzwerte" für die Umgebung des Standortes bestätigt. Falls das Gutachten aufgrund der immer vorhandenen Berechnungsunsicherheiten eine Überschreitung nicht hundertprozentig ausschließen kann, ist es sinnvoll, zusätzlich noch eine Messung nach Inbetriebnahme des Standortes zu vereinbaren, verbunden mit der Auflage, dass im Fall einer Überschreitung vom Betreiber geeignete Maßnahmen unternommen werden, um die Einhaltung der Schweizer "Anlagegrenzwerte" sicherzustellen (z.B. Erhöhung des Antennenstandortes, Leistungsreduzierung). Diese Strategie bei der Verpachtung öffentlicher Grundstücke und Liegenschaften verfolgt beispielsweise die Stadt Tübingen. Auch die Landeshauptstadt München praktiziert seit Herbst 2003 eine vergleichbare Strategie bei der Überlassung kommunaler Liegenschaften. Zusätzlich zum Nachweis der Einhaltung der Schweizer "Anlagegrenzwerte" muss in München noch dargelegt werden, dass der betrachtete Standort die günstigste Alternative in der Umgebung ist, also beispielsweise das höchste Gebäude in der Umgebung darstellt [MÜN 03].

Durch die Gestaltungsfreiheit privatrechtlicher Verträge wird es der Kommune also ermöglicht, öffentliche Grundstücke und Liegenschaften unter immissionsminimierenden Kriterien ohne Kostenaufwand in die Standortfindung von Mobilfunksendeanlagen einzubringen. Allerdings ist auch hier eine behutsame Vorgehensweise notwendig, denn zu strenge Restriktionen können die Betreiber dazu bewegen, auf öffentliche Liegenschaften weitgehend zu verzichten und vornehmlich private Standorte unter Vertrag zu nehmen, so dass der Kommune dann wesentlich weniger Möglichkeiten der Immissionsminimierung zur Verfügung stehen.

Fall 2: Standortanfragen bei Grundstücken und Liegenschaften, die nicht der Kommune gehören.

In diesen Fällen ist es natürlich für die Kommune wesentlich schwieriger, Forderungen nach Immissionsminimierung bei den Betreibern durchzusetzen. Am meisten erfolgversprechend ist dann die Strategie, sich besonders kritischer Fälle anzunehmen und nicht alle Standorte

(von denen vermutlich manche sowieso recht günstig gewählt sind) im Rahmen der Diskussion am "Runden Tisch" in Frage zu stellen.

Um die Trennung der "Spreu vom Weizen" sachgerecht, schnell und kostengünstig durchzuführen, müssen Verfahren entwickelt werden, die eine "Befassungsschwelle" definieren, d.h. die festlegen, in welchen Fällen ein Standort als "immissionstechnisch optimierungswürdig" gesehen wird und daher mit den Betreibern Modifizierungen oder Alternativen diskutiert werden sollen.

Hier gibt es eine Vielzahl von Vorgehensweisen, beispielsweise strebte die Stadt Augsburg eine Befassungsschwelle von 5 Prozent des Grenzwertes nach 26. BImSchV an, allerdings wurde dies von den Betreibern nicht akzeptiert [MÜN 03]. Die Stadt Düsseldorf definiert hingegen, neben anderen Kriterien, einen Freihaltebereich von 100 Meter um alle "empfindlichen Orte" (Schulen, Kindergärten), eine Vorgehensweise, die kritisch hinterfragt werden muss, wie die Ausführungen im Kapitel 7.2.2 belegen.

Als Beispiel für eine erfolgreiche und inzwischen seit mehreren Jahren praktizierte Strategie soll im folgenden die Vorgehensweise der Stadt Erlangen näher vorgestellt werden:

Im Rahmen des "Runden Tisches Erlangen" legten im Herbst 2001 die (damals noch) sechs, in Deutschland tätigen UMTS-Netzbetreiber der Stadt Erlangen ihre Planungen für den Ausbau der UMTS-Mobilfunknetze im Stadtgebiet von Erlangen vor. Es wurde dargelegt, dass für eine ausreichende und flächendeckende Versorgung voraussichtlich weit über 100 neue Sendeanlagen im Stadtgebiet errichtet werden müssen. Um aus dieser Vielzahl von Standorten diejenigen herauszufiltern, bei denen eine Immissionsminimierung besonders geboten erscheint, wurden zunächst von politischer Seite folgende Prämissen festgelegt:

- Minimierung der Belastung der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder
- Bündelung von Standorten
- Freihaltung von "sensiblen Bereichen"

Bei näherer Betrachtung der aufgestellten Prämissen wird allerdings sehr schnell klar, dass es nicht möglich ist, mittels rechnerischer Verfahren flächendeckend festzustellen, wie ein vorgeschlagenes Standortkonzept verändert werden muss, damit eine optimale Minimierung der Feldbelastung der Gesamtbevölkerung von Erlangen sichergestellt ist. Ein derartiger Ansatz würde jeden zeitlichen und finanziellen Rahmen sprengen.

Auch die Forderung einer "Freihaltung von sensiblen Bereichen" ist nicht ausreichend konkret, um daraus sofort eindeutige Handlungsanweisungen ableiten zu können (Frage: Wie groß soll die Freihaltezone um "sensible Bereiche" sein?).

Aus diesem Grund sah sich die Stadtverwaltung veranlasst, die politischen Vorgaben weiter zu präzisieren und die Standorte mittels vereinfachter Kriterien zu bewerten, um somit in einem zeitlich und finanziell erträglichen Rahmen eine Aussage zu erhalten, ob das Gebot der Belastungsminimierung in gewissen Grenzen erreicht wird. Daher wurde von einer flächen-

orientierten Bewertung Abstand genommen und das Hauptaugenmerk auf besonders "sensible Bereiche" fokussiert. Konkret wurde die Standortbewertung nach folgenden Vorgaben durchgeführt:

- Befindet sich ein geplanter Standort näher als 200 Meter an einem "sensiblen Bereich" (Schule, Kindergärten, Krankenhaus, Altenheim etc.), soll ein besonders strenger Bewertungsmaßstab angewendet werden, der über die Vorgaben der 26. BImSchV hinausgeht. Das Ziel der Immissionsminimierung ist dann erreicht, wenn damit gerechnet werden kann, dass die betreffende Sendeanlage im betrachteten "sensiblen Bereich" Feldstärkewerte erzeugt, die mindestens um den Faktor 10 unter den, in Deutschland gültigen Grenzwerten liegen. Die Bewertung entspricht somit in etwa der Schweizer Vorgehensweise. Wird dieses Kriterium eingehalten, hat der Standort das Minimierungskriterium erfüllt. Bei Nichteinhaltung sollen Alternativvorschläge (z.B. Standortverschiebung) mit den Netzbetreibern diskutiert werden.
- Befindet sich ein Standort weiter als 200 Meter von einem "sensiblen Bereich" entfernt, ist aufgrund der beim Mobilfunk üblichen Sendeleistungen und Antennenbündelungen von vorne herein gewährleistet, dass die verschärften Bewertungskriterien erfüllt werden. Es wurde also ein vereinfachtes Entfernungskriterium geschaffen, das sehr einfach überprüft werden kann.

Im Unterschied zur Vorgehensweise von beispielsweise Düsseldorf handelt es sich hier also nicht um ein "Schutzonenkonzept", sondern es sind durchaus auch Standorte innerhalb der 200-Meter-Zone zulässig, wenn die Einhaltung der verschärften Beurteilungswerte nachgewiesen werden kann. Ein "Schutzonenkonzept" von 200 Meter um alle "sensiblen Bereiche" hätte in Erlangen beispielsweise die Konsequenz gehabt, dass der komplette Innenstadtbereich für Mobilfunkanlagen tabu gewesen wäre.

Damit die vorgegebenen Kriterien der Standortbewertung zeitlich und finanziell in einem erträglichen Rahmen durchgeführt werden konnten, wurde ein entfernungsbezogenes Bewertungsverfahren unter "worst-case-Annahmen" entwickelt. Simulationsrechnungen zeigen, dass im "worst-case-Fall" (d.h. im Fall, dass sich der "sensible Bereich" in der Hauptkeule der Antennen des benachbarten Mobilfunkstandortes befindet und keine Dämpfung durch Bewuchs oder Gebäudemauern auftritt) ein Abstand von etwa 30 bis 100 Meter erforderlich ist, um die geforderte Immissionsminimierung sicherzustellen. Der genaue notwendige Mindestabstand ist abhängig von Sendeleistung, Frequenz und Antennengewinn der am Standort installierten Anlage.

Da häufig an einem Standort nicht nur eine Anlage errichtet werden soll, sondern noch weitere Betreiber vorgesehen, und in manchen Fällen bereits Antennen des derzeit im Betrieb befindlichen GSM-Mobilfunks installiert sind, wurde unter Anwendung typischer Anlagendaten (typische Leistungen und Antennenbestückung) eine Tabelle entwickelt, aus der je nach Anzahl und Art der am Standort vorhandenen Mobilfunkanlagen die "Befassungsschwelle" ermittelt werden kann. Der Inhalt dieser Abstandstabelle kann auch als kleines Programm realisiert werden, wie folgendes Beispiel eines "Abstandsrechners" einer anderen bayerischen Gemeinde zeigt, bei der ein vergleichbarer Bewertungsansatz eingeführt wurde.

Am Standort vorhandene Antennenkonstellation
nur eine Konstellation wählen!

nur GSM 900:
 nur GSM 1800 / UMTS:
 GSM 900 und GSM 1800 / UMTS:

Anzahl Systeme pro Standort

GSM 900	<input style="width: 90%;" type="text" value="1"/>	(max. 2)
GSM 1800	<input style="width: 90%;" type="text" value="1"/>	(max. 4)
UMTS	<input style="width: 90%;" type="text" value="0"/>	(max. 4)

Die Schweizer Anlagegrenzwerte sind eingehalten ab
 einer Entfernung zum Antennenstandort von Meter.

Bei Falscheingabe erscheint 0 Meter!

Abb. 7.21: Einfaches Berechnungstool zur Überprüfung der Einhaltung der Schweizer "Anlagegrenzwerte" (exemplarische Zahlenwerte).

Mittels dieses einfachen Tools wird es der Verwaltung ermöglicht, aus den Angaben der Standortbescheinigung oder den technischen Planungsdaten der Betreiber festzulegen ab welcher Entfernung mit hoher Wahrscheinlichkeit beispielsweise die Schweizer "Anlagegrenzwerte" eingehalten werden. Befindet sich also der nächstgelegene "empfindliche Bereich" weiter vom Standort entfernt als es das Rechentool fordert, ist die "Befassungsschwelle" unterschritten, es besteht kein Handlungsbedarf bezüglich einer Immissionsminimierung. Natürlich ist es möglich, den "Abstandsrechner" auch für andere Empfehlungen als die Schweizer Vorgaben zu konfigurieren.

Nochmals sei darauf hingewiesen, dass mit diesem Rechentool keine Freihaltebereiche definiert werden, sondern vielmehr festgestellt werden soll, welche Standorte sich mit hoher Sicherheit konform zum gewählten Minimierungsmodell (Minimierung der ortsbezogenen Immissionsspitzen) verhalten.

Bei allen Standorten, die nicht durch dieses einfache Verfahren schlüssig bewertet werden können (d.h. sie liegen näher an einem "sensiblen Bereich", als es die Entfernungsbetrachtung zulässt), wurde eine Ortsbegehung durchgeführt, um festzustellen, ob die verschärften Kriterien eingehalten werden können, weil beispielsweise ein deutlicher Höhenunterschied zum Antennenstandort besteht, so dass aufgrund des "Nahbereichsschattens" eine Einhaltung des verschärften Beurteilungswertes trotz kurzer Entfernung sicher erscheint. Dies kann im Regelfall beispielsweise bejaht werden, wenn die betrachtete Anlage auf einem Hochhausdach errichtet werden soll, der "sensible Bereich" sich jedoch auf die bodennahe Region in der Nähe beschränkt oder er sich in den unteren Stockwerken des Hochhauses befindet, auf dessen Dach die Antennen installiert werden sollen. Kann durch die Ortsbegehung die Frage der Einhaltung der verschärften Beurteilungswerte nicht zuverlässig geklärt werden, so muss in einem dritten Schritt eine genauere rechnerische Immissionsprognose durchgeführt werden.

Diese abgestufte Vorgehensweise zur Findung der immissionskritischen Standorte hat sich als sehr effizient herausgestellt, da viele der von den Betreibern vorgeschlagenen Standorte bereits im ersten Schritt eindeutig bewertet werden konnten, wie die folgenden Zahlen belegen:

- Es wurden insgesamt 129 geplante UMTS-Standorte in 65 Suchkreisen bewertet.
- Die Vorauswahl durch das Entfernungskriterium war so erfolgreich, dass nur noch bei 18 Suchkreisen eine Ortsbegehung durchgeführt werden musste.
- Bei drei Suchkreisen wurden letztlich Anlagen als immissionskritisch eingestuft. Mögliche Alternativen wurden im Rahmen des "Runden Tisches" mit den Betreibern diskutiert. Der größte Teil der aufgetretenen Problematiken konnte geklärt werden.
- Weitere Standortanfragen, die seit dem Jahr 2001 in unregelmäßigen Abständen bei der Stadt Erlangen auflaufen, werden bis heute nach den hier vorgestellten Prämissen und Verfahren behandelt und geklärt.

Die in den Kapiteln 7.3.2 und 7.3.4 vorgestellten Minimierungsprojekte sind beispielsweise auf Initiative der "Runden Tische" in Erlangen bzw. Augsburg entstanden.