

---

# Analyse der Mobilfunkversorgung der Stadt Velbert

erstellt für die  
Stadt Velbert

28. Januar 2008

## **Projektleitung beim Auftragnehmer**

Dr. Christian Bornkessel  
IMST GmbH  
Abteilung Prüfzentrum  
Carl-Friedrich-Gauß-Straße 2  
47475 Kamp-Lintfort  
Tel: 02842/981-383  
Fax: 02842/981-299  
E-Mail: bornkessel(a)imst.de

## **Autoren**

Dr. Christian Bornkessel  
IMST GmbH  
Abteilung Prüfzentrum  
Carl-Friedrich-Gauß-Straße 2  
47475 Kamp-Lintfort  
Tel: 02842/981-383  
Fax: 02842/981-299  
E-Mail: bornkessel(a)imst.de

Prof. Dr. Matthias Wuschek  
EM-Institut GmbH  
Carlstraße 5  
93049 Regensburg  
Tel.: 0941/298365-0  
Fax: 0941/298365-2  
E-Mail: matthias.wuschek(a)em-institut.de

## **Projektleitung beim Auftraggeber**

Nina Schüller  
Stadt Velbert  
Fachgebiet IV.1.2 Bauleitplanung und Denkmalschutz  
Am Lindenkamp 31  
42549 Velbert  
Tel: 02051/26-2625  
Fax: 02051/26-2742  
E-Mail: nina.schueller(a)velbert.de

## Kurzzusammenfassung

Der Hauptausschuss der Stadt Velbert hat beschlossen, als Grundlage für ein „neutrales Mobilfunkkonzept“ die Erarbeitung einer Bestandsaufnahme in Auftrag zu geben und auf Grundlage dieser eine Zieldefinition für ein „neutrales Mobilfunkkonzept“ zu erarbeiten. In der Bestandsaufnahme sollen die technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen von Mobilfunknetzen untersucht werden, um daraus die Möglichkeiten und Begrenzungen für alternative Netzkonzepte realistisch einschätzen zu können. Außerdem wird der Istzustand bezüglich Netzabdeckung und Versorgungslücken im Mobilfunknetz dokumentiert sowie typische Immissionen, die im Umfeld von verschiedenen Mobilfunk-Basisstationen in Velbert messtechnisch ermittelt wurden, präsentiert.

Bei der Errichtung von Mobilfunkanlagen sind sowohl immissionsschutzrechtliche, als auch baurechtliche Aspekte zu berücksichtigen. Die baurechtliche Prüfung und die immissionsschutzrechtliche Prüfung (Standortbescheinigungsverfahren) sind voneinander unabhängig. Dies bedeutet, dass auch baugenehmigungsfreie Standorte eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung (Standortbescheinigung) benötigen.

Bezüglich des Immissionsschutzrechtes ist durch das Standortbescheinigungsverfahren der Bundesnetzagentur sichergestellt, dass eine Mobilfunkanlage nur dann betrieben werden darf, wenn an ihrem Installationsort der Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern gewährleistet ist. Für den Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern gibt es in Deutschland verbindliche gesetzliche Grenzwerte, die sich am Konzept der ICNIRP orientieren. Durch kontinuierliche Bewertung des Kenntnisstandes zur Erforschung möglicher Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder unterhalb der Grenzwerte auf die Gesundheit kommen nationale und internationale Strahlenschutzgremien zu der Einschätzung, dass derzeit keine Veranlassung besteht, die ICNIRP-Grenzwerte in Frage zu stellen. Somit ist für eine Kommune eine wissenschaftliche Basis für eine Ablehnung oder eine Nichtgenehmigung einer Mobilfunkanlage aus Gründen des Gesundheitsschutzes nicht gegeben. Es ist jedoch empfehlenswert, elektromagnetische Immissionen zu minimieren, wobei die Maßnahmen technisch und wirtschaftlich in einem vernünftigen Verhältnis stehen müssen.

Bezüglich des Baurechts ist zwischen bauplanungs- und bauordnungsrechtlichen Aspekten zu unterscheiden. Das Bauplanungsrecht bestimmt, ob ein Bauvorhaben in einem Baugebiet (Wohngebiet, Gewerbegebiet, Dorfgebiet etc.) errichtet werden darf. Das Bauordnungsrecht regelt die Frage, welche bautechnischen Vorgaben (Abstandsflächen, Brandschutz, Statik etc.) einzuhalten sind. Eine Mobilfunkanlage muss sowohl den bauordnungs-, als auch den bauplanungsrechtlichen Vorschriften entsprechen, um baurechtlich zulässig zu sein. Das Bauordnungsrecht, das sich nach landesrechtlichen Vorschriften richtet, ist dabei vom Bauplanungsrecht, das vorwiegend bundesrechtlich geregelt ist, zu trennen. Demnach sind auch bei einem nach Bauordnungsrecht genehmigungsfreien Bauvorhaben die betreffenden öffentlich-rechtlichen Vorschriften und damit die Bestimmungen des Bauplanungsrechts zu beachten.

Aufgrund der physikalischen Randbedingungen der Wellenausbreitung, regulatorischer Vorgaben sowie der betreiberinternen Qualitätsvorgaben und Kundenprofilen unterliegt die optimale Positionierung einer Basisstation vielen Einflüssen. Die Planung effizienter Mobil-

funknetze mit einer möglichst geringen Anzahl an Sendestandorten ist daher keine einfache Aufgabe, sondern benötigt großes technisches Fachwissen, die Unterstützung durch komplexe und sehr kostspielige Planungssoftware sowie die Kenntnis betreiberinterner Daten (z.B. Versorgungsziel, Kapazitätswerte, Nachbarstandorte). Ohne diese personelle und technische Ausstattung bzw. die Verfügbarkeit der notwendigen Betreiberinformationen ist es nicht möglich, eine seriöse, fundierte Netzplanung unabhängig von den Betreibern durchzuführen. Gerade die Bereitstellung von weitergehenden Daten als die im Internet verfügbaren und der Kommune im Rahmen der Verbändevereinbarung bzw. der freiwilligen Selbstverpflichtung zur Verfügung stehenden Informationen wird von Seiten der Betreiber aus Wettbewerbsgründen abgelehnt, da sie dem Betriebs- und Geschäftsgeheimnis unterliegen. Somit ist eine Grundvoraussetzung für die fachgerechte Erstellung einer eigenständigen globalen Standortplanung „Standortkonzept“ nicht gegeben.

Außerdem bedeutet jede neu zu errichtende Basisstation für den Netzbetreiber einen hohen finanziellen und organisatorischen Aufwand. Insofern ist die Aufstellung von neuen Stationen kein „Selbstzweck“, sondern dient der Optimierung der funktechnischen Versorgung. Ihre Errichtung wurde im Vorfeld vom Betreiber vermutlich bezüglich der technischen Eignung und wirtschaftlichen Notwendigkeit eingehend bewertet. Es ist also schon aus diesem Grund zweifelhaft, dass ein extern erstelltes Konzept, welches von sich behauptet, mit deutlich weniger Basisstationen eine qualitativ vergleichbare Versorgung gewährleisten zu können wie mit dem ursprünglichen vom Netzbetreiber geplanten Netz, dies in der Realität auch wirklich einhält.

Im Gegensatz zur Erstellung kostspieliger (üblicherweise im sechsstelligen Bereich bei Städten mit mehr als 50.000 Einwohnern) flächendeckender Konzepte, die vermutlich aus obigen Gründen von den Betreibern nicht akzeptiert werden, besteht bei der Optimierung *einzelner* Standorte (z.B. im Rahmen von neuen Standortanfragen) eher die Chance einer Minimierung (auch im Konsens mit den Betreibern). Mögliche Ansätze zur Minimierung, die jeweils fallbezogen auf ihre Vor- und Nachteile untersucht werden müssen, sind z.B.

- Standorte im Außenbereich
- Freihaltebereiche um sensible Einrichtungen
- Hohe Standorte
- Konzentration von Mobilfunkanlagen auf wenige Standorte
- Verteiltes Standortkonzept

Auch für Standorte, die bereits errichtet sind, gibt es fallbezogen die folgenden Optimierungsmaßnahmen:

- Veränderung der horizontalen Ausrichtung und der vertikalen Strahlneigung (Downtilt) der Antennen
- Verringerung des Einflusses vertikaler Nebenkeulen im Antennendiagramm

- Verwendung von Antennen mit kleinem vertikalen Öffnungswinkel
- Erhöhung des Antennenträgers

Obwohl streng genommen das Vorhandensein einer proportionalen Dosis-Wirkungs-Beziehung bei hochfrequenten Feldern unterhalb der geltenden Grenzwerte nicht geklärt ist, wird bei Minimierungsüberlegungen natürlich immer angestrebt, dass möglichst geringe Immissionen in der Umgebung von Sendeanlagen erzeugt werden. 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 zum Beispiel 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 ist jede denkbare Maßnahme sowohl bezüglich ihrer Wirkung auf die mittlere Immission in der Umgebung, als auch auf die entstehenden „Spitzenimmissionen“ im Nahbereich zu bewerten. Ob die Minimierung der „Spitzenimmissionen“ im Fokus stehen soll, oder ob stattdessen eher eine besonders niedrige mittlere Immission angestrebt wird, muss vom Auftraggeber festgelegt werden. Darüber hinaus werden weitere notwendige Vorgaben der Kommune an den Gutachter definiert.

In der direkten Umgebung einiger Mobilfunksendeanlagen in den Orten Velbert-Mitte, Velbert-Neviges und Velbert-Langenberg wurden Messungen der hochfrequenten Mobilfunk-Immissionen durchgeführt. Die untersuchten Anlagenstandorte sowie die Messpunkte wurden zusammen mit der Stadt Velbert ausgewählt und repräsentieren möglichst verschiedenartige Anlagenkonfigurationen und Messszenarien. Insgesamt wurden die Orte so ausgewählt, dass sich sowohl typische als auch besonders exponierte Szenarien ergaben. Orte, die im Fokus der öffentlichen Diskussion stehen, wurden ebenfalls berücksichtigt.

Da Mobilfunkimmissionen zeitlich aufgrund von Leistungsregelungsmechanismen der Sendeanlagen schwanken, wurden gemäß den Vorgaben der 26. BImSchV alle Messwerte auf den Zustand bei maximaler Anlagenauslastung hochgerechnet. Außerdem wurde für die Hochrechnung von einer Anlagenkonfiguration ausgegangen, die die Netzbetreiber bei der Bundesnetzagentur beantragt haben. Diese ist aber derzeit oftmals noch nicht realisiert, d.h. die Anlagen laufen aktuell mit geringeren Leistungsdaten.

Die auf maximale Auslastung extrapolierten Messwerte an den 29 untersuchten Messpunkten schöpfen die Grenzwerte der 26. BImSchV nur zu einem geringen Teil aus. Die kleinste gemessene Immission beträgt 0,1 % des Feldstärkegrenzwertes (0,1 V/m bzw. 16  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ), die größte gemessene Immission beträgt 13,6 % des Feldstärkegrenzwertes (7,4 V/m bzw. 145.373  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ). Der Median ist 1,6 % des Feldstärkegrenzwertes.

Bei der Auswertung der Messdaten hat sich ergeben, dass nicht der Abstand zur Anlage für die Höhe der Immission entscheidend ist, sondern vor allem die Orientierung zur Hauptstrahlrichtung sowie die Sichtverhältnisse.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzzusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Rechtliche Grundlagen des Mobilfunks</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1 Immissionsschutz</b> .....	<b>8</b>
2.1.1 <i>Konzeption von Grenzwerten im Hochfrequenzbereich</i> .....	9
2.1.2 <i>Umsetzung des Konzepts in Rechtsvorschriften und Empfehlungen</i> .....	9
2.1.3 <i>Stand der aktuellen Forschung</i> .....	13
2.1.4 <i>Konsequenzen</i> .....	15
<b>2.2 Baurechtliche Aspekte</b> .....	<b>15</b>
2.2.1 <i>Bauordnungsrecht</i> .....	16
2.2.2 <i>Bauplanungsrecht</i> .....	16
<b>2.3 Verbändevereinbarung und Selbstverpflichtung</b> .....	<b>18</b>
<b>3 Technische Grundlagen des Mobilfunks</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1 Randbedingungen, Versorgungsziele</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2 Konzeption von GSM- und UMTS- Mobilfunknetzen</b> .....	<b>25</b>
3.2.1 <i>Struktur von Mobilfunknetzen</i> .....	25
3.2.2 <i>Struktur der GSM-Netze in Deutschland</i> .....	26
3.2.3 <i>Besonderheiten der Netzkonzeption bei UMTS</i> .....	28
<b>3.3 Häufig diskutierte Fragestellungen und Minimierungsansätze</b> .....	<b>32</b>
3.3.1 <i>Freihaltebereiche für Mobilfunkanlagen</i> .....	32
3.3.2 <i>Niedrigere Sendeleistungen</i> .....	35
3.3.3 <i>Einfluss der Netzstruktur auf die Immission des Telefonierenden</i> .....	36
<b>3.4 Fazit: Realistische Ansatzpunkte zur Minimierung der Mobilfunkimmission</b> .....	<b>39</b>
<b>4 Netzabdeckung und Versorgungslückeneinzelnher Anbieter</b> .....	<b>41</b>
<b>5 Ergebnisse der Expositionsmessungen</b> .....	<b>47</b>
<b>5.1 Beschreibung des Messverfahrens und der Geräte</b> .....	<b>47</b>
5.1.1 <i>Messverfahren</i> .....	47
5.1.2 <i>Extrapolation auf maximale Anlagenauslastung</i> .....	48
5.1.3 <i>Verwendete Messgeräte</i> .....	49
<b>5.2 Auswahl der Messorte und der Messpunkte</b> .....	<b>50</b>

<b>5.3</b>	<b>Messergebnisse.....</b>	<b>53</b>
<b>5.4</b>	<b>Auswertung der Messungen .....</b>	<b>54</b>
<b>5.4.1</b>	<b><i>Größenordnung der Immissionen .....</i></b>	<b>55</b>
<b>5.4.2</b>	<b><i>Abstandsverhalten der Immission im Nahbereich.....</i></b>	<b>55</b>
<b>5.4.3</b>	<b><i>Orientierung zur Hauptstrahlrichtung.....</i></b>	<b>57</b>
<b>5.4.4</b>	<b><i>Einfluss der Sichtverhältnisse.....</i></b>	<b>58</b>
<b>5.5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>59</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>60</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>62</b>

## **1 Einleitung**

Der Hauptausschuss der Stadt Velbert hat beschlossen, als Grundlage für ein „neutrales Mobilfunkkonzept“ die Erarbeitung einer Bestandsaufnahme in Auftrag zu geben und auf Grundlage dieser eine Zieldefinition für ein „neutrales Mobilfunkkonzept“ zu erarbeiten.

Aus der Erfahrung der letzten Monate hat sich gezeigt, dass „alternative Mobilfunkkonzepte“ dann Akzeptanzprobleme haben, wenn sie ausschließlich nach Gesichtspunkten der Immissionsminimierung, aber ohne Berücksichtigung von funktechnischen Gesichtspunkten (z.B. Kapazitäts- und Interferenzaspekte) konzipiert werden. Zusätzlich zu diesen technischen Aspekten müssen auch rechtliche Fragen berücksichtigt werden, um die Einflussmöglichkeiten einer Kommune auf die Standortplanung von Mobilfunk-Basisstationen realistisch beurteilen zu können.

Der Ausgangspunkt für Überlegungen hinsichtlich eines „neutralen Mobilfunkkonzeptes“ soll es daher sein, im Sinne einer Bestandsaufnahme die technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen von Mobilfunknetzen zu untersuchen, um daraus die Möglichkeiten und Begrenzungen für alternative Netzkonzepte realistisch einschätzen zu können. Außerdem wird der Istzustand bezüglich Netzabdeckung und Versorgungslücken im Mobilfunknetz dokumentiert sowie typische Immissionen, die im Umfeld von verschiedenen Mobilfunk-Basisstationen in Velbert messtechnisch ermittelt wurden, präsentiert.

## **2 Rechtliche Grundlagen des Mobilfunks**

Dieses Kapitel dokumentiert den Rechtsstand bezüglich der Errichtung und des Betriebes von Mobilfunk-Basisstationen in Deutschland (bzw. spezifisch in Nordrhein-Westfalen) in den Bereichen Immissionsschutz und Baurecht. Weiterhin werden Aspekte der Verbändevereinbarung sowie der Freiwilligen Selbstverpflichtung der Netzbetreiber angesprochen.

### **2.1 Immissionsschutz**

Für den Schutz von Personen vor sowie zur Vorsorge von Personen gegen schädliche Umwelteinwirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder (außermedizinisch) im Hochfrequenzbereich existieren zahlreiche nationale und internationale Verordnungen, Richtlinien, Normen und Empfehlungen. In Deutschland besteht seit dem 16. Dezember 1996 mit der „Sechszwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)“ und den darin festgelegten Grenzwerten eine gesetzliche Regelung in diesem Bereich [26. BImSchV]. Dieses Gesetz ist seit dem 01. Januar 1997 in Kraft. Die Verordnung gilt für die Errichtung und den Betrieb von Hochfrequenzanlagen und Niederfrequenzanlagen, die gewerblichen Zwecken dienen oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden.

### **2.1.1 Konzeption von Grenzwerten im Hochfrequenzbereich**

Die für Deutschland gültigen Grenzwerte der 26. BImSchV zum Schutz der Bevölkerung vor hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung folgen dem Konzept der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) [ICNIRP 98]. Das ICNIRP-Konzept basiert darauf, dass die Kopplung zwischen elektromagnetischem Feld und dem Menschen oberhalb von 100 kHz primär durch Energieabsorption im menschlichen Körper erfolgt. Primärer Effekt dieser Energieabsorption ist bei Frequenzen oberhalb von 10 MHz eine Temperaturerhöhung im menschlichen Gewebe. Temperaturerhöhungen von mehr als 1-2° C können dabei zu negativen Gesundheitseffekten führen, wie z.B. Hitzestress oder Hitzschlag, und müssen deswegen durch eine geeignete Grenzwertsetzung vermieden werden. Die Energieabsorption im menschlichen Körper wird durch die Spezifische Absorptionsrate (SAR) in Watt pro Kilogramm beschrieben. Experimente haben gezeigt, dass eine SAR von 1 bis 4 W/kg über einen Zeitraum von 30 Minuten eine Temperaturerhöhung von weniger als 1° C bewirkt. Unter Hinzuziehung eines Sicherheitsfaktors von 50 für die Allgemeinbevölkerung wird deswegen ein Ganzkörper-Grenzwert für die SAR von 0,08 W/kg als so genannter Basisgrenzwert festgelegt. Für die Bereiche Kopf/Rumpf und die Gliedmaßen sind höhere Werte für die lokale SAR zulässig, allerdings unter der Bedingung, dass der Ganzkörper-Grenzwert eingehalten wird.

Die Messung der SAR im Gewebe ist am „lebenden Objekt“ nicht möglich. Nur für ausgewählte Gerätegruppen (z.B. Mobiltelefone) existieren auf Kopf- bzw. Körperphantomen basierende Messkonzepte. Deswegen werden neben den Basisgrenzwerten zusätzlich so genannte „abgeleitete Grenzwerte“ (Feldstärken oder Leistungsflussdichten) eingeführt, die mit derzeit verfügbaren Messgeräten relativ einfach überprüft werden können. Die abgeleiteten Grenzwerte werden aus den Basisgrenzwerten unter der Annahme einer maximalen Kopplung des Feldes zur exponierten Person berechnet. Deswegen gewährleistet eine Einhaltung der abgeleiteten Grenzwerte auch eine Einhaltung der Basisgrenzwerte. Wenn die abgeleiteten Grenzwerte überschritten werden, bedeutet dies aber nicht automatische auch eine Überschreitung der Basisgrenzwerte; in diesem Fall ist eine detaillierte Untersuchung der SAR-Werte notwendig.

Wohingegen der Basisgrenzwert konstant über den gesamten Frequenzbereich zwischen 10 MHz bis 10 GHz ist, variieren die abgeleiteten Grenzwerte über der Frequenz aufgrund der unterschiedlichen Koppelmechanismen in Abhängigkeit von der Größe des Individuums. Die entsprechenden abgeleiteten Werte werden im nächsten Abschnitt vorgestellt.

### **2.1.2 Umsetzung des Konzepts in Rechtsvorschriften und Empfehlungen**

#### 26. BImSchV

Die Umsetzung der Grenzwertkonzeption nach ICNIRP für die Allgemeinbevölkerung erfolgt in Deutschland in der 26. BImSchV. Die 26. BImSchV gilt im Hochfrequenzbereich für ortsfeste Sendeanlagen mit einer Sendeleistung von 10 W EIRP (äquivalente isotrope Strahlungsleistung) oder mehr, die elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 10 MHz bis 300 GHz erzeugen. Sie ist damit auf Mobilfunk-Basisstationen voll anwendbar.

Zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen sind Hochfrequenzanlagen so zu errichten und zu betreiben, dass in ihrem Einwirkungsbereich in Gebäuden oder auf Grundstücken, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung und unter Berücksichtigung von Immissionen durch andere ortsfeste Sendefunkanlagen die in Tabelle 2.1 bestimmten Grenzwerte der elektrischen und magnetischen Feldstärke für den jeweiligen Frequenzbereich nicht überschritten werden. Bei gepulsten elektromagnetischen Feldern, wie z.B. von Radaranlagen, darf zusätzlich der Spitzenwert für die elektrische und magnetische Feldstärke das 32fache der Werte nach Tabelle 2.1 nicht überschreiten.

Frequenz $f$ in MHz	Effektivwert, quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle	
	Elektrische Feldstärke $E_{\text{eff}}$ in V/m	Magnetische Feldstärke $H_{\text{eff}}$ in A/m
10 - 400	27,5	0,073
400 - 2000	$1,375 \sqrt{f}$	$0,0037 \sqrt{f}$
2000 - 300000	61	0,16

Tab. 2.1: Grenzwerte der elektrischen und magnetischen Feldstärke im HF-Bereich, 26. BImSchV

Elektrische und magnetische Feldstärken sind im Fernfeld einer Strahlungsquelle über den Wellenwiderstand des Freiraumes,  $Z_0 = 377 \Omega$ , ineinander überföhrbar und beinhalten deswegen dieselbe Information. Deswegen ist es hier ausreichend, lediglich die GröÖe des elektrischen Feldes zu messen.

Das Produkt von elektrischer und magnetischer Feldstärke im Fernfeld einer Strahlungsquelle ergibt die elektrische Leistungsflussdichte  $S$ . Da auch diese dieselbe Information wie die Feldstärken beinhaltet, wird sie oft alternativ zur elektrischen Feldstärke bei der Grenzwertüberprüfung herangezogen.

Tabelle 2.2 fasst die relevanten Grenzwerte der 26. BImSchV für die Abstrahlung der Basisstationen (Downlink) in den Mobilfunkbereichen GSM 900, GSM 1800 und UMTS zusammen. Die Auswertungen der Immissionsmessungen in Kapitel 5 werden primär anhand der elektrischen Feldstärke vorgenommen.

Deutschland – 26. BImSchV	Elektrische Feldstärke $E_{\text{eff}}$ in V/m	Magnetische Feldstärke $H_{\text{eff}}$ in A/m	Äquivalente Leistungsflussdichte $S$ in $\text{W/m}^2$
GSM 900, GSM-R	41,7 - 42,6	0,11	4,6 - 4,8
GSM 1800	58,7 - 59,6	0,16	9,1 - 9,4
UMTS	61,0	0,17	10

Tab. 2.2: Grenzwerte für die Mobilfunkfrequenzbereiche nach 26. BImSchV

Europäischen Ratsempfehlung 1999/519/EG

Der Rat der Europäischen Union hat 1999 eine Empfehlung zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder (0 - 300 GHz) veröffentlicht. Den Mitgliedstaaten der Europäischen Union ist die Umsetzung dieser Empfehlung 1999/519/EG, die auf den Grenzwerten der ICNIRP beruht, prinzipiell freigestellt. Innerhalb des Zertifizierungsprozess beim Inverkehrbringen von Funkgeräten innerhalb der EU (CE-Zeichen) referenzieren jedoch zahlreiche Normen auf die Ratsempfehlung, die dadurch eine gewisse Rechtsgültigkeit erlangt.

Wie auch bei der 26. BImSchV basieren die Grenzwerte der Ratsempfehlung auf den ICNIRP-Richtlinien [ICNIRP 98], allerdings mit dem Unterschied, dass auch schon unterhalb von 10 MHz entsprechende Grenzwerte definiert sind. Der Frequenzbereich unterhalb von 10 MHz ist bezüglich stationärer Sendeanlagen beispielsweise für den Lang-, Mittel- und Kurzwellen-Rundfunkbetrieb relevant.

Die Referenzwerte für die elektrische und magnetische Feldstärke sowie die elektrische Leistungsflussdichte ab 3 kHz sind in Tabelle 2.3 zusammengestellt.

Frequenzbereich	Elektrische Feldstärke $E_{\text{eff}}$ in V/m	Magnetische Feldstärke $H_{\text{eff}}$ in A/m	Äquivalente Leistungsflussdichte $S$ in $\text{W}/\text{m}^2$
3 - 150 kHz	87	5	-
0,15 - 1 MHz	87	$0,73/f$	-
1 - 10 MHz	$87/\sqrt{f}$	$0,73/f$	-
10 - 400 MHz	28	0,073	2
400 - 2000 MHz	$1,375 \sqrt{f}$	$0,0037 \sqrt{f}$	$f/200$
2 - 3000 GHz	61	0,16	10

Tab. 2.3: Referenzwerte für elektromagnetische Felder ab 3 kHz nach der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG

Der Grenzwert ist dann eingehalten, wenn der Messwert  $E$  kleiner als der jeweilige Grenzwert  $E_L$  ist, bzw. wenn der grenzwertbezogene Ausschöpfungsgrad  $\text{GW}_{\text{ASG}}=E/E_L$  kleiner als Eins ist.

Wirken gleichzeitig Felder unterschiedlicher Frequenzen zusammen, dann sind die grenzwertbezogenen Ausschöpfungsgrade geeignet zu summieren. In Anlehnung an die EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG werden diese für die Frequenzbereiche bis 10 MHz (Reizwirkungen) und ab 100 kHz (thermische Wirkungen) getrennt gebildet:

$$GW_{-ASG}_{\text{Reizwirk.}} = \sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \quad (2.1)$$

$$GW_{-ASG}_{\text{thermisch}} = \sqrt{\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}}\right)^2} \quad (2.2)$$

- $E_i$  gemessene elektrische Feldstärke bei der Frequenz  $i$ ;  
 $E_{L,i}$  Referenzwert für die elektrische Feldstärke nach Tabelle 2.3;  
 $a$  beträgt 87 V/m;  
 $c$  beträgt  $87/\sqrt{f}$  V/m,  $f$  in MHz.

Es resultieren also zwei getrennt gebildete Ausschöpfungsgrade, von denen jeweils der größere betrachtet werden muss.

### Standortbescheinigungsverfahren und BEMFV

Die BEMFV [BEMFV] regelt das Nachweisverfahren zur Gewährleistung des Schutzes von Personen in den durch den Betrieb von ortsfesten Funkanlagen entstehenden elektromagnetischen Feldern.

Bereits seit 1992 führt die heutige Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (Bundesnetzagentur, BNetzA) für die Zulassung von ortsfesten Funkanlagen ein Standortbescheinigungsverfahren durch. Seit diesem Zeitpunkt dürfen in ganz Deutschland beispielsweise Mobilfunkbasisstationen mit einer äquivalenten isotropen Strahlungsleistung von 10 Watt und mehr nur dann in Betrieb genommen werden, wenn an ihrem Installationsort der Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern gewährleistet ist. Die Standortbescheinigung stellt dies sicher. Nur wenn für eine beantragte ortsfeste Funkanlage das Standortverfahren erfolgreich abgeschlossen werden kann, das heißt, der Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern am Installationsort gewährleistet ist, erteilt die BNetzA eine Standortbescheinigung. Ohne Standortbescheinigung darf die ortsfeste Funkanlage nicht in Betrieb genommen werden.

Innerhalb des Verfahrens werden so genannte systembezogene und standortbezogene Sicherheitsabstände festgelegt. Der *systembezogene* Sicherheitsabstand ist der Abstand zwischen einer einzelnen Sendeantenne und dem Bereich, in dem die Grenzwerte eingehalten werden. Die Sicherheitsabstände der einzelnen Sendeantennen werden entsprechend ihrer Montage und ihrer Abstrahlrichtung bereichsbezogen (Sektor) zu *standortbezogenen* Sicherheitsabständen zusammengefasst. Dabei wird auch der Einfluss der relevanten Feldstärken von umliegenden ortsfesten Funkanlagen berücksichtigt. Als Grenzwerte werden hierbei die Grenzwerte der 26. BImSchV bzw. der Europäischen Ratsempfehlung 1999/519/EG sowie bezüglich aktiver Körperhilfen der Entwurf DIN VDE 0848-3-1/A1 angesetzt. Die Sendeanlage darf nur dann betrieben werden, wenn sich innerhalb des standortbezogenen Sicherheitsabstandes keine Personen aufhalten, es sei denn aus betriebstechnischen Gründen.

Die in der Standortbescheinigung zum Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern von Funkanlagen festgelegten Sicherheitsabstände oder auch Sicherheitsbereiche werden in der Regel rechnerisch festgelegt. Wenn dies aus technischen Gründen (zum Beispiel Betrachtungen innerhalb des Funknahfeldes eines Rundfunksenders) nicht möglich ist, erfolgt die Festlegung des Sicherheitsabstandes messtechnisch. In beiden Fällen wird von der *beantragten maximalen Anlagenauslastung* ausgegangen und die zu bewertenden technischen Parameter im Sinne des Schutzes von Personen in elektromagnetischen Feldern zu Ungunsten des Betreibers angenommen.

Die standortbezogenen Sicherheitsabstände bei Mobilfunkanlagen liegen in der Regel im Bereich von einigen Metern.

### **2.1.3 Stand der aktuellen Forschung**

Die ICNIRP-Grenzwerte basieren auf der Begrenzung von thermischen Effekten, da dies der einzige allgemein akzeptierte Wirkungsmechanismus von hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung im Frequenzbereich oberhalb von 10 MHz ist. In den letzten Jahren wird aber zunehmend auch über nicht-thermische Effekte berichtet, die in einzelnen biologischen Untersuchungen gefunden wurden. Effekte werden dann als nicht-thermisch bezeichnet, wenn sie bei Expositionsfeldstärken unterhalb der Grenzwerte auftreten und damit nicht auf eine Temperaturerhöhung im Organismus zurückgeführt werden können. Darunter sind solche Endpunkte wie Krebs, unspezifische Symptome (z.B. Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schwindel, Konzentrationsstörungen, ...) sowie Effekte auf das Nervensystem, Fortpflanzung und Entwicklung. Einige Untersuchungen zeigen solche Effekte, andere scheitern jedoch beim Versuch, diese zu reproduzieren. Deswegen wurden in den letzten Jahren umfangreiche Forschungsaktivitäten zur Untersuchung von möglichen Niedrigdosiseffekten hochfrequenter Felder unterhalb der derzeitigen Grenzwerte gestartet. Ein Beispiel für ein sehr umfangreiches Programm ist das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm [DMF 07], das im Jahr 2002 begonnen wurde und insgesamt 49 Projekte in den Bereichen Biologie, Dosimetrie, Epidemiologie und Risikokommunikation umfasst. Das DMF wird mit jeweils 8,5 Millionen Euro vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie den Mobilfunk-Netzbetreibern finanziert. Die fachliche Leitung liegt in den Händen des Bundesamtes für Strahlenschutz. Ein Abschluss dieses Programms ist für Mitte 2008 geplant.

Die Ergebnisse der Forschungswelt zu nicht-thermischen Effekten werden in periodischen Abständen von internationalen Strahlenschutzgremien analysiert, um gegebenenfalls Anpassungen der Grenzwerte vorzunehmen. Eine der jüngsten Analysen wurde von einem Komitee der Europäischen Union, dem SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks), im März 2007 vorgelegt. SCENIHR fasst seinen Review wie folgt zusammen (persönliche Übersetzung des Autors, für den englischen Wortlaut siehe [SCENIHR 2007]):

- Aus epidemiologischer Sicht stellt der Mobiltelefongebrauch von weniger als 10 Jahren kein erhöhtes Risiko für Gehirntumore oder Akustikusneurinome (gutartiger Tumor des Hör- und Gleichgewichtsnervs) dar. Für eine darüber hinausgehende Nutzungsdauer ist die Datenlage spärlich und jegliche Schlussfolgerungen deswegen mit Unsicherheiten behaftet. Aus den verfügbaren Daten scheint ein erhöhtes Risiko für Gehirntumore bei Langzeitnutzern nicht zu existieren. Eine Ausnahme hierbei sind Akustikusneurinome, bei denen Hinweise für einen Zusammenhanges bestehen.
- Für andere Krankheiten als Krebs sind kaum epidemiologische Daten verfügbar.
- Obwohl kein spezifischer Nachweis dafür existiert, können Kinder oder Jugendliche gegenüber HF-Feldern empfindlicher als Erwachsene im Hinblick auf ihre fortschreitende Entwicklung sein. Heutzutage können Kinder außerdem eine höhere kumulative Exposition als frühere Generationen erfahren. Derzeit sind keine epidemiologischen Studien an Kindern verfügbar.
- Konsistent konnte nicht gezeigt werden, dass HF-Exposition einen Effekt auf selbst berichtete Symptome (z.B. Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schwindel und Konzentrationsstörungen) oder das Wohlbefinden hat.
- Studien zu neurologischen Effekten und sowie zur Fortpflanzung haben keine Gesundheitsrisiken bei Expositionen unterhalb der ICNIRP-Grenzwerte gezeigt.
- Tierstudien haben keinen Nachweis dafür ergeben, dass HF-Felder Krebs induzieren, die Effekte bekannter Karzinogene verstärken oder die Entwicklung von transplantierten Tumoren beschleunigen können. Offene Fragen bestehen hinsichtlich der Adäquatheit experimenteller Modelle sowie der spärlichen Datenlage bei hohen Expositionspegeln.
- Es gibt keine konsistenten Hinweise aus der in-vitro Forschung, dass HF-Felder im nichtthermischen Expositionsbereich Zellen beeinflussen.

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass bei Exposition unterhalb der ICNIRP Grenzwerte keine gesundheitlichen Effekte konsistent gezeigt werden konnten. Allerdings sei die Datenlage für diese Einschätzung vor allem hinsichtlich Langzeit-Niedrigexposition beschränkt.

Eine andere zusammenfassende Bewertung der jüngeren Zeit wurden von der Deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) abgegeben und bezieht sich speziell auf die genotoxischen und genregulatorischen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder [SSK 06]. Die SSK stellt dabei fest (Zitat):

- „Auch aus der neueren Literatur ergibt sich kein wissenschaftlich begründeter Verdacht auf eine genotoxische Wirkung von HF-Feldern.
- Auch aus der neueren Literatur ergibt sich kein wissenschaftlich begründeter Verdacht auf einen Einfluss von HF-Feldern auf die Genregulation.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studien geben daher insgesamt keinen Anlass, von einer gesundheitsgefährdenden Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Genom auszugehen und die geltenden Grenzwerte in Frage zu stellen.“

Bereits im Jahr 2001 kam die SSK in der Bewertung „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“ [SSK 01] zu dem Schluss, „dass auch nach der Bewertung der neueren wissenschaftlichen Literatur keine neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse im Hinblick auf nachgewiesene Gesundheitsbeeinträchtigungen vorliegen, die Zweifel an der wissenschaftlichen Bewertung aufkommen lassen, die den Schutzkonzepten der ICNIRP bzw. der EU-Ratsempfehlung zugrunde liegt.“ Darüber hinaus wird jedoch auch das Minimierungsgebot empfohlen: „Die Strahlenschutzkommission empfiehlt Maßnahmen zu ergreifen, um Expositionen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Rahmen der technischen und wirtschaftlich sinnvollen Möglichkeiten zu minimieren. Dies gilt insbesondere für Bereiche, in denen sich Personen regelmäßig über längere Zeit aufhalten. Die Maßnahmen sollen sich an dem Stand der Technik orientieren.“

#### **2.1.4 Konsequenzen**

Durch das Standortbescheinigungsverfahren der Bundesnetzagentur ist sichergestellt, dass eine Mobilfunkanlage nur dann betrieben werden darf, wenn an ihrem Installationsort der Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern gewährleistet ist. Für den Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern gibt es in Deutschland verbindliche gesetzliche Grenzwerte, die sich am Konzept der ICNIRP orientieren. Durch kontinuierliche Bewertung des Kenntnisstandes zur Erforschung möglicher Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder unterhalb der Grenzwerte auf die Gesundheit kommen nationale und internationale Strahlenschutzgremien zu der Einschätzung, dass derzeit keine Veranlassung besteht, die ICNIRP-Grenzwerte in Frage zu stellen.

Somit ist für eine Kommune eine wissenschaftliche Basis für eine Ablehnung oder eine Nichtgenehmigung einer Mobilfunkanlage aus Gründen des Gesundheitsschutzes nicht gegeben. Es ist jedoch empfehlenswert, elektromagnetische Immissionen zu minimieren, wobei die Maßnahmen technisch und wirtschaftlich in einem vernünftigen Verhältnis stehen müssen.

## **2.2 Baurechtliche Aspekte**

Neben immissionsschutzrechtlichen Aspekten sind bei der Errichtung von Mobilfunkanlagen auch baurechtliche Aspekte zu beachten. Darstellungen zu dieser Thematik finden sich z.B. in [DECK 03], [BfS 07] und [BAY 01].

Bezüglich des Baurechts ist zwischen bauplanungs- und bauordnungsrechtlichen Aspekten zu unterscheiden. Das Bauplanungsrecht bestimmt, ob ein Bauvorhaben in einem Baugebiet (Wohngebiet, Gewerbegebiet, Dorfgebiet etc.) errichtet werden darf. Das Bauordnungsrecht regelt die Frage, welche bautechnischen Vorgaben (Abstandsflächen, Brandschutz, Statik etc.) einzuhalten sind.

Eine Mobilfunkanlage muss sowohl den bauordnungs-, als auch den bauplanungsrechtlichen Vorschriften entsprechen, um baurechtlich zulässig zu sein. Das Bauordnungsrecht, das sich

nach landesrechtlichen Vorschriften richtet, ist dabei vom Bauplanungsrecht, das vorwiegend bundesrechtlich geregelt ist, zu trennen. Demnach sind auch bei einem nach Bauordnungsrecht genehmigungsfreien Bauvorhaben die betreffenden öffentlich-rechtlichen Vorschriften und damit die Bestimmungen des Bauplanungsrechts zu beachten.

### **2.2.1 Bauordnungsrecht**

Für Nordrhein-Westfalen ist die „Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen“ (Fassung vom 1. März 2000, zuletzt geändert am 5. April 2005) anzuwenden (BauO NRW). Nach Paragraph 65 Abs. 1 Nr. 18 sind „... sonstige Antennen und Sendeanlagen einschließlich der Masten mit einer Höhe bis zu 10,0 m ...“ genehmigungsfrei. Laut einer Mitteilung des früheren Ministeriums für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport des Landes NRW vom 16. Juli 2004 sind diese 10 Meter als „... Maß der Anlage von ihrem Fußpunkt bis zu ihrer Spitze ...“ zu interpretieren, „... unabhängig davon, auf welchem Dach die Anlage errichtet wird bzw. an welcher Stelle sie aus der Dachhaut tritt.“

Bezüglich der Versorgungseinheiten von Mobilfunksendeanlagen regelt Paragraph 65 Abs. 1 Nr. 9a, dass bauliche Anlagen, die ausschließlich dem Fernmeldewesen dienen, bis 20 m<sup>2</sup> Grundfläche und 4 m Höhe genehmigungsfrei sind.

Ebenso sind Nutzungsänderungen genehmigungsfrei, wenn die Errichtung oder Änderung der Anlage für die neue Nutzung genehmigungsfrei wäre (Paragraph 65 Abs. 2 Nr. 3). Paragraph 65 Abs. 1 Nr. 18 stellt die „Änderung der Nutzung oder der äußeren Gestalt der baulichen Anlage, wenn die Antenne, Sendeanlage oder die Versorgungseinheit in, auf oder an einer bestehenden baulichen Anlage errichtet werden“, frei.

Generell genehmigungsfrei sind nach Paragraph 65 Abs. 1 Nr. 1 Gebäude bis zu 30 m<sup>3</sup> Brutto-Rauminhalt, allerdings unter Ausschluss des Außenbereichs.

Entsprechend den Vorgaben der BauO NRW sind Baugenehmigungen dann zu erteilen, wenn dem Vorhaben öffentlich-rechtliche Vorschriften nicht entgegenstehen (Paragraph 75 Abs. 1). Relevante Vorschriften sind neben den Vorschriften der Landesbauordnungen und dem Baugesetzbuch auch die Vorschriften der Denkmalschutzgesetze. Diese sind insbesondere dann zu beachten, wenn Mobilfunkanlagen auf denkmalgeschützten Gebäuden errichtet werden; hier muss dann ein denkmalschutzrechtliches Verfahren durchgeführt werden. In ähnlicher Weise sind naturschutzrechtliche Verfahren durchzuführen, wenn die Mobilfunkanlage in einem durch naturschutzrechtliche Verordnung geschützten Bereich errichtet wird.

### **2.2.2 Bauplanungsrecht**

Das Bauplanungsrecht ist im Baugesetzbuch (BauGB) geregelt. Das BauGB gehört zum Bundesrecht. Damit die Paragraphen 30 ff. BauGB, welche die Regelung der baulichen Nutzung enthalten, Anwendung finden, muss es sich bei Mobilfunkanlagen um bauliche Anlagen im Sinne des Paragraph 29 Abs. 1 BauGB handeln. Dies ist der Fall, wenn die betreffende Mobilfunkanlage städtebauliche Relevanz besitzt.

Die städtebauliche Relevanz ist gegeben, wenn das Vorhaben die in Paragraph 1 Abs. 5 BauGB genannten Belange in einer Weise berührt oder berühren kann, die geeignet sind, das Bedürfnis nach einer ihre Zulässigkeit regelnden verbindlichen Bauleitplanung hervorzu-rufen (BVerwGE 44, 59, 62). Im Rahmen von Paragraph 1 Abs. 5 BauGB sind hier insbeson-dere folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen: die allgemeinen Anforderungen an ge-sunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse sowie die Sicherheit der Wohn- und Arbeitsbevölke-rung (Ziff. 1), die Gestaltung des Orts- und Landschaftsbildes (Ziff. 4) und die Belange des Denkmalschutzes und der Denkmalpflege sowie die erhaltenswerten Ortsteile, Straßen und Plätze (von geschichtlicher, künstlerischer oder städtebaulicher Bedeutung (Ziff. 5).

Besondere Bedeutung kommt der in Paragraph 1 Abs. 5 Ziff. 4 verankerten Forderung nach Erhaltung vorhandener Ortsteile sowie der Gestaltung des Orts- und Landschaftsbildes zu. Ob eine Mobilfunkanlage das Orts- und Stadtbild beeinträchtigt, ist jeweils im Einzelfall zu beurteilen. Maßgeblich ist dabei nicht allein die Größe der Anlage, sondern auch ihre konkre-te Ausgestaltung. Von Bedeutung sind ferner der jeweilige Standort und die Frage, ob dieser herausgehoben oder weniger herausgehoben ist (Bayerischer Verwaltungsgerichtshof, Beschluss vom 21.06.1999, CE 98.3373). Aufgrund ihrer geringen Höhe dürfte eine städte-bauliche Relevanz für die meisten Mobilfunkanlagen nicht gegeben sein. Bei kleinformatigen Antennenanlagen mit einer Höhe von lediglich 2 bis 3 Metern wird die städtebauliche Rele-vanz prinzipiell zu verneinen sein. So stellte etwa das Bayerische Verwaltungsgericht Bay-reuth in einem Urteil vom 05.07.2001 (Az. B 2 S 01.367) fest, dass eine städtebauliche Relevanz bei einer 3,2 Meter hohen Anlage auf einem zweigeschossigen Gebäude nicht gegeben sei. In diesem Zusammenhang hat das Schleswig-Holsteinische Verwaltungsge-richt am 09.05.2003 geurteilt: „Antennenmasten von Mobilfunkanlagen auf Gebäuden sind den heutigen Gegebenheiten entsprechend nicht per se ungewöhnlich und damit auffällig und eine erhebliche Einwirkung auf das Ortsbild ist auch nicht unter dem Gesichtspunkt der Häufung derartiger Anlagen anzunehmen, weil die Zahl der Netzbetreiber begrenzt ist und diese zudem bemüht sind, Anlagen möglichst gemeinsam zu nutzen“ (Az 5 A 157/02).

Soweit eine Mobilfunkanlage aufgrund erheblicher Größe oder ihrer besonders herausgeho-bener Stellung als städtebaulich relevant anzusehen sein sollte, ist weiter zu prüfen, ob sie sich im *beplanten* oder *unbeplanten Innenbereich* oder im *Außenbereich* befindet:

Wird eine Mobilfunkanlage im *Außenbereich* errichtet, kommt eine Privilegierung in Betracht. Außenbereiche sind diejenigen Gebiete, die weder innerhalb des räumlichen Geltungsbe-reich eines Bebauungsplanes im Sinne des Paragraph 30 Abs. 1 oder 2, noch innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile liegen. Privilegierung bedeutet, dass die Vorhaben im Außenbereich bevorzugt zulässig sind. Es besteht grundsätzlich ein Rechtsanspruch auf Errichtung der Mobilfunkanlage, sofern insbesondere öffentliche Belange dem nicht entge-genstehen. Bei der Errichtung einer Mobilfunkanlage im Außenbereich muss die Gemeinde ihr Einvernehmen erteilen. Die Möglichkeit, dieses zu versagen, ist aber sehr begrenzt. Die Gemeinde kann das Einvernehmen nur aus bauplanungsrechtlichen Gründen versagen. Soweit ein Rechtsanspruch auf Zulassung des Vorhabens besteht, ist die Gemeinde zur Erteilung des Einvernehmens verpflichtet.

Im *Innenbereich* sind grundsätzlich die Vorschriften der Baunutzungsverordnung (BauNVO) von Bedeutung, entweder weil sich die Anlage im Geltungsbereich eines Bebauungsplans befindet, oder weil die Eigenart der näheren Umgebung einem der in der BauNVO aufgeführ-

ten Baugebiete entspricht. Eine Mobilfunkanlage ist als eine nicht störende gewerbliche Nutzung anzusehen. Demnach ist sie in besonderen Wohngebieten, im Dorfgebiet, im Mischgebiet, im Kerngebiet, im Gewerbegebiet und im Industriegebiet als gewerbliche Hauptanlage allgemein zulässig. Lediglich im allgemeinen Wohngebiet ist eine Mobilfunkanlage als Hauptanlage nur ausnahmsweise und im reinen Wohngebiet grundsätzlich nur im Wege einer Befreiung nach Paragraph 31 Abs. 2 BauGB zulässig. Eine Mobilfunkanlage als Nebenanlage im Sinne von Paragraph 14 Abs. 2 Satz 2 BauNVO ist dagegen auch in reinen Wohngebieten ausnahmsweise, und nicht nur im Wege einer Befreiung zulässig. Hinsichtlich der Einstufung einer Mobilfunkanlage als Nebenanlage oder als Hauptanlage besteht in der aktuellen Rechtsprechung eine klare Tendenz zur Nebenanlage. Paragraph 14 Abs. 2 gilt allerdings nur für Bebauungspläne, die nach dem 27.01.1990 öffentlich ausgelegt worden sind. Bei älteren Plänen gilt die BauNVO von 1977 (letzte Änderung 1986), in der in Paragraph 14 fernmeldetechnische Nebenanlagen nicht aufgeführt sind; hier ist dann in jedem Falle eine Befreiung notwendig.

Für Mobilfunkanlagen, die nicht Vorhaben im Sinne des Paragraph 29 Abs. 1 BauGB sind, gelten die Regelungen des BauGB über die bauliche Nutzung nicht. Diese Anlagen sind im nichtbeplanten Innenbereich und im Außenbereich planungsrechtlich unbeschränkt zulässig. Sie sind jedoch nicht von den Bindungen freigestellt, die sich unmittelbar aus einem Bebauungsplan ergeben.

Hier sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die baurechtliche Prüfung und die immissionsschutzrechtliche Prüfung (Standortbescheinigungsverfahren) unabhängig voneinander sind. Dies bedeutet, dass auch baugenehmigungsfreie Standorte eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung (Standortbescheinigung) benötigen.

## **2.3 Verbändevereinbarung und Selbstverpflichtung**

Bereits im Jahr 2001 haben die Mobilfunknetzbetreiber mit den kommunalen Spitzenverbänden und der Bundesregierung Abmachungen hinsichtlich einer möglichst einvernehmlichen Suche von Mobilfunkstandorten und einem optimalen Informationsaustausch zwischen Netzbetreibern und Kommunen getroffen. Grund hierfür waren die in Teilen der Bevölkerung existierende Besorgnisse über mögliche Auswirkungen der Mobilfunkanlagen auf die Gesundheit sowie ortsbildende Belange, die bei der Standortwahl immer wieder zu Konflikten geführt hatten.

Neben Aspekten wie der Bereitstellung von Geldern zur Forschungsförderung auf dem Gebiet der elektromagnetischen Felder sowie für einen Aufbau eines Netzes von EMF-Monitoren stehen in beiden Abmachungen folgende Maßnahmen bezüglich eines verbesserten Informationsaustausches und einer optimierten Standortauswahl im Mittelpunkt:

In der „Vereinbarung über den Informationsaustausch und die Beteiligung der Kommunen beim Ausbau der Mobilfunknetze“ zwischen den kommunalen Spitzenverbänden und den Mobilfunknetzbetreibern vom 5. Juli 2001 (Verbändevereinbarung) werden folgende Abmachungen getroffen:

- Jeder Mobilfunkbetreiber bietet den Kommunen regelmäßige Gespräche zum aktuellen Ausbau- und Planungsstand der Netzinfrastruktur an.
- Die Kommune kann ihrerseits Standortvorschläge für neue Sendeanlagen unterbreiten, die von den Mobilfunkbetreibern vorrangig und ergebnisoffen geprüft werden.
- Sofern diese Vorschläge funktechnisch geeignet und wirtschaftlich realisierbar sind, werden sie seitens der Betreiber vorrangig verwirklicht. Andernfalls muss eine Begründung an die Kommune abgegeben und weitere Einigungsversuche unternommen werden.
- Die Mobilfunkbetreiber und die kommunalen Spitzenverbände streben einvernehmliche Standortentscheidungen an.

Die „Hinweise und Informationen zur Vereinbarung über den Informationsaustausch und die Beteiligung der Kommunen beim Ausbau der Mobilfunknetze“ vom 6. Juni 2003 ergänzen und konkretisieren die in der Verbändevereinbarung getroffenen Absprachen. Hier wird insbesondere die konkrete Standortplanung anhand von „Suchkreisen“, d.h. möglicher Bereiche für die Platzierung einer Sendeanlage, erläutert.

In den „Maßnahmen der Mobilfunknetzbetreiber zur Verbesserung von Sicherheit und Verbraucher-, Umwelt- und Gesundheitsschutz, Information und vertrauensbildende Maßnahmen beim Ausbau der Mobilfunknetze“ vom 5. Dezember 2001 (Freiwillige Selbstverpflichtung) haben sich die Mobilfunknetzbetreiber darüber hinaus zu folgenden Maßnahmen bereit erklärt:

- Offenlegung der Planungen durch halbjährliche Erörterung der Netzplanung unter Einbeziehung von Standortalternativen mit den jeweils betroffenen Kommunen.
- Verbindliche Einbeziehung der Kommunen in die Standortwahl: Gelegenheit der Kommunen zur Stellungnahme innerhalb einer Frist von acht Wochen.
- Gemeinsame Nutzung von Antennenstandorten (Site-Sharing).
- Alternative Standortprüfung bei Kindergärten und Schulen.

Obwohl die Information und Einbeziehung der Kommunen bei der Standortauswahl generell zu begrüßen ist und entsprechende Erfolge auch durch kontinuierliche unabhängige Jahresgutachten dokumentiert sind, bleibt jedoch festzuhalten, dass die Kommune realistisch gesehen weder für die von ihr vorgeschlagenen Alternativstandorte, noch für die Verhinderung von Standorten auf oder in der Nähe von Schulen und Kindergärten eine rechtliche Handhabe hat. Die Vereinbarungen sagen hier lediglich eine funk- und immissionstechnische Prüfung durch die Netzbetreiber, aber keine zwingende Realisierung zu. Entsprechende Standortvorschläge können also nur in einem Miteinander, nicht jedoch gegen die Netzbetreiber realisiert werden.

### **3 Technische Grundlagen des Mobilfunks**

Zur Sicherstellung einer qualitativ hochwertigen Mobilfunkversorgung ist eine ausreichende Zahl an Mobilfunkbasisstationen notwendig, deren Positionierung nicht beliebig gewählt werden kann, sondern hauptsächlich durch physikalische Randbedingungen (z.B. maximale Leistung der Telefone, Funkwellenausbreitung) und Kapazitätsanforderungen bestimmt wird. Die optimale Position von Mobilfunksendeanlagen wird daher vom Netzbetreiber im Rahmen eines Planungsprozesses festgelegt, in den eine Vielzahl von Randbedingungen einfließen. Es ist hier allerdings nicht beabsichtigt, erschöpfend auf den Aufbau und die Funktionsweise von modernen Mobilfunksystemen sowie auf Details der Funknetzplanung einzugehen, da das den Rahmen dieses Gutachtens sprengen würde. Stattdessen sei hier auf einige Veröffentlichungen hingewiesen, die diesbezüglich tiefer gehende Informationen vermitteln können. Grundlegende Auskünfte zur Funktionsweise des Mobilfunks sowie zur Planung von Mobilfunknetzen finden sich beispielsweise in [LÜD 01]. Die komplexen Zusammenhänge beim UMTS-Mobilfunk sind - so weit dies überhaupt möglich ist - relativ anschaulich in [KRÜ 03] dargestellt, eine kurze allgemeinverständliche Einführung in den UMTS-Mobilfunk liefert zum Beispiel [STM 03].

#### **3.1 Randbedingungen, Versorgungsziele**

Das generelle Ziel der Funknetzplanung besteht in einer Sicherstellung der Versorgung eines bestimmten Verkehrsaufkommens (Zahl an Telefongesprächen, die gleichzeitig abgewickelt werden können bzw. Datenmenge, die maximal pro Sekunde übertragen werden kann) innerhalb einer bestimmten Region für bestimmte Dienste (z.B. Sprachübertragung, Datenkommunikation) mit hoher Dienstqualität (Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit) bei möglichst niedrigen Betriebskosten (d.h. Errichtung einer möglichst geringen Zahl an Sendeanlagen). Zusätzlich sind natürlich gesetzliche bzw. regulatorische Randbedingungen zu beachten.

Betrachtet man die derzeit in Deutschland herrschende Situation, so stellt man fest, dass Mobilfunk vom überwiegenden Teil der Bevölkerung mehr oder weniger intensiv genutzt wird. Dabei wird offensichtlich, dass einige Grundtatsachen bei der Planung von Mobilfunknetzen als nahezu unverrückbar betrachtet werden müssen:

- Das derzeitige Konsumverhalten des Mobilfunknutzers muss als vorgegeben angesehen werden. Fragestellungen, ob beispielsweise durch eine Aufforderung zu weniger intensiver Nutzung des Mobilfunks Sendeanlagen eingespart und dadurch Immissionen verringert werden können, machen im Rahmen kommunaler Minimierungsüberlegungen wenig Sinn.
- Auch grundsätzliche regulatorische bzw. kartellrechtliche Randbedingungen können nicht missachtet werden. Hierzu zählt beispielsweise die Tatsache, dass die Betreiber grundsätzlich 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 O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> 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, sollte auf jeden Fall im Rahmen kommunaler Minimierungsüberlegungen im Einzelfall diskutiert werden.

- Ebenfalls durch regulatorische Vorgaben beschränkt ist die Nutzung von Frequenzen. Jedem Betreiber steht nur eine beschränkte Anzahl an Sendefrequenzen (bzw. Übertragungskanälen) zur Verfügung, mit denen er streng haushalten muss. Um überhaupt die vorgegebenen Kapazitätsanforderungen erfüllen zu können, müssen die verfügbaren Frequenzen bei GSM beispielsweise im Netz sehr häufig verwendet werden, was die Gefahr gegenseitiger Beeinflussung der einzelnen Basisstationen stark erhöht. Aus diesem Grund sind an manchen Standorten bestimmte Positionierungen oder Antennenausrichtungen „tabu“, auch wenn sie die Versorgung des umliegenden Gebietes sicherstellen würden, da sie im Versorgungsbereich weiter entfernter Basisstationen erhebliche Störungen verursachen. Besonders kritisch verhalten sich diesbezüglich die UMTS-Basisstationen. Auch in der Nähe zum Ausland werden von der zuständigen Regulierungsbehörde (Bundesnetzagentur) sehr restriktive Vorgaben gemacht, damit sich die Mobilfunksysteme der einzelnen Staaten möglichst wenig gegenseitig stören.
- Auch eine Grundsatzdiskussion über die Frage, was unter „ausreichender Versorgungsqualität“ zu verstehen ist, kann nicht geführt werden. Es muss davon ausgegangen werden, 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 98 Prozent, was durch eine ausreichende Leistungsflussdichte innerhalb der Gebäude gewährleistet wird. In der Praxis wird die Indoorversorgung dadurch sichergestellt, dass im Freien typisch um etwa den Faktor 100 (20 dB) mehr Leistungsflussdichte 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 ein bis zwei Prozent kommt [LÜD 01]. An dieser Stelle muss auch 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 eigens dafür installierte Indoorrepeater versorgt). Das häufig in der öffentlichen Diskussion vorgebrachte Argument, dass die Mobilfunknetze grundsätzlich leistungsmäßig so hoch ausgelegt werden, dass auch die Versorgung von Kellern und Tiefgaragen durch außen liegende Standorte möglich wird, ist nicht korrekt. Diesbezüglich besteht also auch kein Minimierungspotenzial.

- Ebenfalls nicht in Frage gestellt werden kann die Notwendigkeit des neuen Mobilkommunikationssystems UMTS, das sich derzeit in Deutschland und den anderen europäischen Ländern im Aufbau befindet. Im Gegensatz zum etablierten GSM-Mobilfunk ist das Hauptziel von UMTS nicht die Übertragung von Telefongesprächen (was natürlich mit UMTS auch möglich ist und auch durchgeführt wird, z.B. um in bestimmten Regionen die GSM-Netze zu entlasten), sondern zusätzlich die Sicherstellung hochratiger Datenübertragungskapazitäten vergleichbar mit der leitungsgebundenen DSL-Technik. UMTS soll hier eine drahtlose Alternative für den mobilen Einsatz bzw. für die Versorgung von Regionen, die keine DSL-Anbindung besitzen, ermöglichen. Die häufig vorgebrachte Argumentation, dass UMTS nicht nötig wäre, da in der betrachteten Region bereits lückenloses Mobiltelefonieren möglich ist, greift somit nicht, da die reine Sprachtelefonie eben nicht die Hauptzielsetzung von UMTS ist.

Behält man die obigen Randbedingungen im Auge, ergeben sich folgende Vorgaben für die Planung von Mobilfunknetzen:

- Die Signalqualität muss auf 90 bis 98 Prozent der betrachteten Fläche ausreichend gut sein, um die gewünschten Dienste mit der geforderten Güte sicherstellen zu können.
- Die gewünschte Kapazität muss im Bereich der betrachteten Fläche sichergestellt sein. Damit ist gemeint, dass eine bestimmte Anzahl an Teilnehmern gleichzeitig die angebotenen Dienste mit einer garantierten Qualität nutzen können.
- Die Häufigkeit von Verbindungsabbrüchen muss unter einem bestimmten Grenzwert bleiben.
- Regulatorische Vorgaben sind einzuhalten.
- Die für den Netzaufbau und -betrieb entstehenden Kosten sind möglichst niedrig zu halten. Insbesondere ist eine möglichst geringe Anzahl an Senderstandorten anzustreben.

Zum ersten Aufzählungspunkt ist folgendes anzumerken:

Unter dem Begriff „Signalqualität“ versteht man nicht nur die Stärke des Empfangssignals am Mobiltelefon, die der Nutzer beispielsweise durch die Versorgungsanzeige am Handy dargestellt bekommt. Natürlich ist eine ausreichend große Empfangsleistung für eine zufriedenstellende Verbindungsqualität die Mindestvoraussetzung. Zusätzlich sind jedoch die vorhandenen Störsignale, verursacht beispielsweise durch benachbarte Standorte, zu berücksichtigen. Dies bedeutet, dass nicht die absolute Empfangsstärke allein die Übertragungsqualität bestimmt, sondern immer das Verhältnis zwischen Empfangssignal und Störsignal betrachtet werden muss. Bei schlechter Standortplanung kann es sein, dass das Störniveau so hoch ist, dass deutlich höhere Signalleistungen am Empfangsort notwendig sind, um eine zufriedenstellende Verbindung sicherzustellen, als es bei relativ geringen Umgebungsstörungen der Fall ist. Ein schlecht geplanter Standort mit hohem Störpotenzial kann somit eine Vielzahl von anderen Standorten negativ beeinflussen. Gelegentlich ist es sogar notwendig, einen

Senderstandort an einer bestimmten Stelle nur aus dem Grund zusätzlich zu installieren, weil in der Umgebung aufgrund starker Störsignale kein zufrieden stellender Empfang möglich ist, und dieser Mangel durch einen entsprechend starken Signalpegel des neuen Standortes beseitigt werden muss.

Der Begriff „ausreichende Signalqualität“ lässt sich also nicht durch eine einfache Zahl festlegen. Schon die bei störungsarmer Umgebung notwendige Mindestempfangsleistung ist abhängig vom Funknetz und der Art des gewünschten Dienstes. Zusätzlich ist zu beachten, dass in vielen Fällen nicht der „Downlink“ (d.h. die Verbindungsstrecke zwischen Basisstation und Handy), sondern der „Uplink“ (Verbindung zwischen Handy und Sendeanlage) die kritische Übertragungsstrecke darstellt, denn im Gegensatz zur Basisstation sind die Sendeleistungen der Mobiltelefone begrenzt. Im D-Netz (GSM-900) besitzen die Telefone eine maximale Leistung von zwei Watt, während im E-Netz (GSM-1800) sie nur ein Watt Maximalleistung abgeben können, was sich zusammen mit den ungünstigeren Wellenausbreitungsbedingungen im E-Netz (aufgrund der etwa doppelt so hohe Signalfrequenz wie im D-Netz) im Regelfall deutlich auf die Versorgungsreichweite auswirken kann. Noch kritischer verhält sich diesbezüglich UMTS: Die für die Sicherstellung einer bestimmten Dienstgüte notwendige Empfangsleistung ist stark von der Art des betrachteten Dienstes (Sprachübertragung im Gegensatz zu hochratiger Datenübertragung) abhängig. Näheres dazu folgt noch in einem separaten Abschnitt.

Als Fazit kann also festgehalten werden, dass der Begriff „ausreichende Signalqualität“ nicht einfach durch eine simple Zahl für die Mindestsignalstärke am Empfangsort definiert werden kann, da eine Vielzahl von Randbedingungen einwirken, die beispielsweise vom Frequenzband (900, 1800 oder 2100 MHz), dem Mobilfunkstandard (GSM oder UMTS) und dem betrachteten Dienst (Sprache oder Datenübertragung) abhängt. Zusätzlich ist noch zu beachten, dass auch jeder der vier Netzbetreiber individuelle Qualitätsmaßstäbe an die Versorgungsqualität in einer bestimmten Region setzt. Beispielsweise wird ein Betreiber bei einer Sendeanlage, die einen Bereich versorgt, in dem ein wichtiger Kunde seine Betriebsstätte unterhält, der zudem eine Vielzahl von Telefonverträgen beim Betreiber abgeschlossen hat, meist einen anderen Qualitätsmaßstab an die Versorgungsgüte anlegen, als an einen Standort, der hauptsächlich der Versorgung einer dünn besiedelten Fläche auf dem Land dient.

Letztlich ist es für einen externen Gutachter nicht möglich, endgültig festzulegen, ab welcher Empfangssignalstärke eine ausreichende Versorgungsgüte bei einem bestimmten Standort vorliegt, da er die dafür notwendigen internen Informationen des jeweiligen Betreibers nicht kennt und ein Standort niemals für sich allein zu betrachten ist, sondern immer im Zusammenwirken mit den Nachbarstandorten des Netzes gesehen und bewertet werden muss. Der externe Gutachter ist nur in der Lage, die von den Betreibern vorgelegten Versorgungsrechnungen (meist farbige Darstellungen in Landkartenform) zu begutachten und ihre Korrektheit und Glaubwürdigkeit zu bewerten. Eigene Berechnungen sind aufgrund der immens hohen Kosten für die dafür notwendigen qualitativ hochwertigen Berechnungsprogramme (inklusive der topografischen und Flächennutzungsdaten), sowie der fehlenden firmeninternen Qualitäts- und Kapazitätsvorgaben bzw. Informationen über die Nachbarstandorte nicht sinnvoll durchführbar.

Auch zum zweiten Aufzählungspunkt ergeben sich einige Anmerkungen:

Insbesondere im Bereich dichter Besiedelung (etwa ab Kleinstadtgröße) wird die Ausdehnung des Versorgungsbereichs einer Basisstation meist nicht mehr durch ihre physikalische Maximalreichweite begrenzt, sondern durch die Kapazität. Sowohl GSM- als auch UMTS-Basisstationen sind nur in der Lage, eine begrenzte Anzahl an Gesprächen bzw. Datenverbindungen mit bestimmter Datenrate gleichzeitig abzuwickeln. Werden mehr Gespräche als die Maximalzahl im Bereich der Versorgungszelle angefordert, wird die Anfrage zurückgewiesen, da alle verfügbaren Kanäle belegt sind. Aufgrund der inzwischen sehr großen Teilnehmerzahl müssen insbesondere die beiden „großen“ Netzbetreiber ihre Funkzellen verkleinern, so dass aufgrund der dadurch zunehmenden Zahl der Basisstationen pro Fläche eine größere Maximalzahl an Gesprächen in der betrachteten Region möglich wird.

Die häufig vorgebrachte Argumentation, dass ein neuer Standort in einem bestimmten Bereich gar nicht notwendig ist, da man ja dort bereits jetzt schon im Netz des betreffenden Betreibers einwandfrei telefonieren kann, ist aus diesem Grund meist unvollständig, da der Standort in diesem Fall vermutlich nicht aufgrund von Abdeckungslücken, sondern wegen gesteigerter Kapazitätsanforderungen realisiert werden soll.

Auch bei dieser Fragestellung ist ein externer Gutachter nicht in der Lage, eigenständig Vorgaben über die notwendige bzw. ausreichende Versorgungskapazität einer Region treffen zu können, da ihm dafür die firmeninternen Verkehrsdaten (d.h. die Zahl der im Ortsgebiet vorhandenen Kunden und deren Telefonierverhalten der verschiedenen Netzbetreiber) fehlen.

Dritter Aufzählungspunkt: Verbindungsabbrüche

Die im dritten Aufzählungspunkt erwähnte Zahl an Verbindungsabbrüchen ist im wesentlichen zum einen an die Versorgungsqualität im Bereich der Funkzelle gebunden. Als zweiter Faktor ist das Zusammenspiel mit den Nachbarstandorten zu sehen. Bei einem sich bewegendem Teilnehmer (z.B. Telefongespräch während einer Auto- oder Zugfahrt) muss eine bestehende Verbindung unterbrechungsfrei von einer Basisstation an den Nachbarstandort übergeben werden, wenn der Teilnehmer den aktuellen Versorgungsbereich verlässt. Somit ist bei der Standortplanung nicht nur der eigene Versorgungsbereich zu beachten, es muss zusätzlich sichergestellt sein, dass die Abdeckung möglichst mit einer gewissen Überlappung zu den Nachbarstandorten sichergestellt ist, so dass keine Verbindungsabbrüche bei Verlassen der Zelle auftreten. Die durch schlechte Standortplanung entstehenden Versorgungslücken zwischen zwei Standorten müssten dann unter Umständen mittels eines zusätzlichen Standorts geschlossen werden.

Insgesamt gesehen stellt die Planung eines hochwertigen, wirtschaftlichen Mobilfunknetzes also sehr große ingenieurmäßige Herausforderungen an den Betreiber. Die Lösung dieser relativ komplexen Optimierungsaufgabe ist aufgrund der Vielzahl von sich teilweise gegenseitig beeinflussenden Randbedingungen nur mit aufwändigen, computergestützten Planungstools möglich. Alle uns bisher vorliegenden, von externen Gutachtern erstellten

„Standortkonzepte“ sind unter mehr oder weniger starker Missachtung der oben genannten, unabdingbaren Prämissen entstanden.

## **3.2 Konzeption von GSM- und UMTS- Mobilfunknetzen**

### **3.2.1 Struktur von Mobilfunknetzen**

In diesem Kapitel soll vornehmlich die häufig gestellte Frage näher beleuchtet werden, warum für den Mobilfunk so viele Sendestationen benötigt werden, und die Versorgung nicht durch einige leistungsstarke Sendeanlagen außerhalb der Ortschaften z.B. auf Bergen sichergestellt werden kann.

Grundsätzlich sind dafür mehrere unterschiedliche Gründe verantwortlich. Zunächst muss an dieser Stelle festgehalten werden, dass beim Mobilfunk nicht derart große Reichweiten erzielbar sind, wie man sie von UKW- oder TV-Sendern her kennt, da diese mit wesentlich größerer Sendeleistung arbeiten können als Mobilfunkbasisstationen. Prinzipiell könnte man natürlich auch bei Mobilfunksendeanlagen die Leistung erhöhen, um eine größere Reichweite und damit eine größere Flächenabdeckung zu erzielen. Dies macht jedoch keinen Sinn, da, wie bereits erwähnt, die Sendeleistung der Endgeräte (Mobiltelefone) dann ebenfalls vergrößert werden müsste, um die Verbindung auch in der Gegenrichtung sicherzustellen, was sich jedoch schon wegen der begrenzten Akkukapazität der Telefone und der sich ergebenden Immissionen im Kopf des Nutzers nicht realisieren lässt. Die aktuell verfügbaren Mobiltelefone nutzen die maximal zulässigen SAR-Werte teilweise schon zu 50 Prozent und mehr aus, so dass höhere Sendeleistungen schon aus Gründen des Strahlenschutzes bei den Telefonen nicht in Frage kommt. Der „gewöhnliche“ Rundfunk hat hier Vorteile. Die Verbindung wird nur in einer Richtung (vom Sendeturm zum Rundfunkgerät) aufgebaut, eine Kommunikation in der Gegenrichtung ist nicht vorgesehen. Daher ist beim Rundfunk die Versorgung größerer Regionen durch wenige leistungsstarke Sendetürme möglich.

Neben dieser Leistungsproblematik wird die Reichweite von Mobilfunksignalen auch noch durch Wellenausbreitungseffekte (Abschattungen durch Berge oder Bebauung, Dämpfungen durch Bäume, Interferenzen durch Mehrwegeausbreitung) erheblich eingeschränkt. Bild 3.1 zeigt als Extrembeispiel für eine Reichweitenbeschränkung durch Hindernisse den Abdeckungsbereich einer Mikrozellenantenne im innerstädtischen Gebiet.

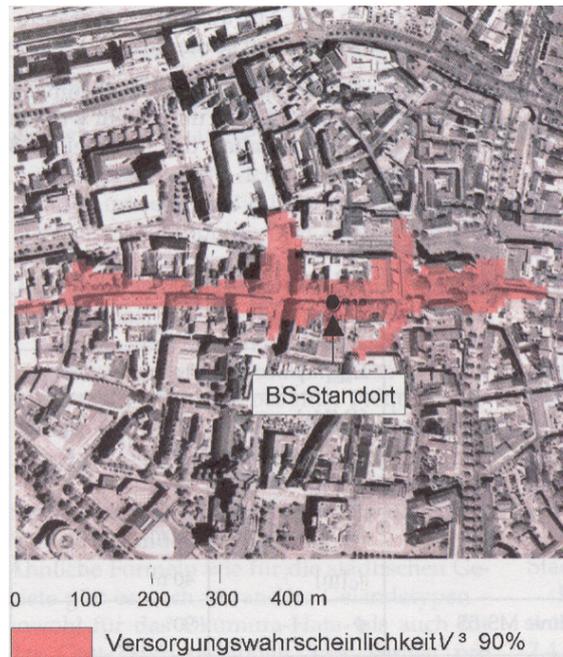


Bild 3.1: Versorgungsgebiet einer Mikrozele [LÜD 01] (BS = Basisstation)

Um also (wie manchmal vorgeschlagen) ausschließlich mit niedrig montierten Mikrozellennantennen (die üblicherweise nur mit wenigen Watt Leistung betrieben werden) ein flächendeckendes Mobilfunknetz aufzubauen, müssten eine Vielzahl derartiger Stationen errichtet werden. Wie aus Bild 3.1 ersichtlich ist, wäre schon in der nächsten Parallelstraße eine neue Station notwendig. Die Kosten für die Errichtung einer derartigen Netzstruktur wären somit kaum tragbar, außerdem ergeben sich noch weitere technische Probleme aufgrund der sehr häufigen Zellwechsel von Telefonen, die sich innerhalb einer derartigen Netzstruktur schnell bewegen (Kfz). Aus diesen Gründen werden Mikrozellen in der Regel nur in Bereichen realisiert, die aufgrund von hohem Verkehrsaufkommen ein sehr engmaschiges Netz an Stationen notwendig machen (z.B. Fußgängerzonen im innerstädtischen Bereich).

Ein weiterer Grund für die große Zahl an Mobilfunkstandorten, nämlich die Kapazitätsproblematik, wurde bereits im vorhergehenden Kapitel behandelt.

### 3.2.2 Struktur der GSM-Netze in Deutschland

In der Anfangszeit der GSM-Netze wurde die Stationsdichte für eine Versorgung von Autotelefonen mit fünf Watt und mehr Sendeleistung geplant. Auch ging man zunächst davon aus, dass die Funkversorgung nur im Freien sichergestellt werden muss. Im Laufe der Jahre nahmen jedoch die Qualitätsansprüche der Kunden zu, so dass die Netze deswegen verdichtet werden mussten, um eine lückenlose Kommunikation mit den heute nur noch verwendeten Endgeräten mit einem bzw. zwei Watt Sendeleistung zu gewährleisten. Zudem wurde mehr und mehr gewünscht, dass die Versorgung auch im Gebäudeinnern („Indoor“) sichergestellt ist, so dass sich die Reichweite der einzelnen Senderstandorte noch mehr verringerte.