

Einfluss von Grenzwertabsenkungen auf die Struktur von Mobilfunknetzen

Mobilfunk-

**Christian Bornkessel,
Elke Stöcker-Meier**

In den Diskussionen um die Standorte von Mobilfunksendeanlagen wird von besorgten Anwohnerinnen und Anwohnern immer wieder eine Absenkung der Personenschutzgrenzwerte für Mobilfunk-Basisstationen, z.B. nach dem Schweizer Modell, thematisiert. In diesem Beitrag wird beispielhaft untersucht, welchen Einfluss eine solche Grenzwertabsenkung auf die Struktur der Mobilfunknetze und auf die Gesamtimmission durch Mobilfunk-Basisstationen hätte.

Einleitung

Nicht zuletzt durch die neue UMTS Technologie (Universal Mobile Telecommunications System) und den damit verbundenen Bedarf an etwa 40.000 neuen Basisstationen allein in Deutschland ist in den letzten Monaten eine breite öffentliche Diskussion bezüglich Mobilfunk entbrannt. Im Zentrum dieser Diskussion stehen nicht die mobilen Endgeräte (Handys), sondern die Basisstationen. Besorgte Anwohnerinnen und Anwohner von Basisstationen fordern im Sinne der Vorsorge unter anderem neue, gegenüber den bisherigen Personenschutzgrenzwerten (im folgenden vereinfacht als *Grenzwerte* bezeichnet) verschärfte Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischer Strahlung.

Vor diesem Hintergrund hat das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen das Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST GmbH) in Kamp-Lintfort mit der Durchführung einer Studie „Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunk-Basisstationen“ beauftragt. Schwerpunkte der Studie sind Abschätzungen von zu erwartenden typischen Immissionswerten im allgemeinen sowie eine systematische messtechnische Erfassung von Immissionen im besonderen. Daraus werden Anhaltspunkte für die derzeit konkret vorliegende Immissionssituation in der Umgebung von Basisstationen abgeleitet und Minimierungskonzepte aufgestellt. Die Ergebnisse der Studie sind im Internet auf der Seite

<http://www.munlv.nrw.de/sites/arbeitsbereiche/immission/mobil.htm>
öffentlich verfügbar.

Ein Teilbereich der Studie beschäftigt sich mit der Frage, welche Auswirkungen Grenzwertabsenkungen auf die Struktur der Mobilfunknetze und auf die Gesamtimmission durch Mobilfunk-Basisstationen hätten. Insbesondere sollte hierbei ermittelt werden,

- in welchem Umfang eine Grenzwertabsenkung tatsächlich zu einer Reduzierung der Gesamtimmission für die Bevölkerung führt (ergibt eine Absenkung der Grenzwerte um den Faktor 100 auch eine Verringerung der Gesamtimmission um den Faktor 100 gegenüber der ursprünglichen Situation?),
- inwieweit ein konzentriertes (wenige Anlagen höherer Leistung) oder verteiltes (viele Anlagen geringerer Leistung) Senderkonzept bezüglich der Gesamtimmission zu bevorzugen ist, und
- in welchem Ausmaß mit einer Erhöhung der Antennenanzahl zu rechnen ist. Gerade dieses ist ein nicht zu unterschätzender Faktor, da die Besorgnis in Teilen der Bevölkerung auch mit der Anzahl der sichtbaren Mobilfunkantennen korreliert.

Die hier beschriebenen Untersuchungen wurden primär für Mobilfunkanlagen nach GSM-Standard durchgeführt; die Ergebnisse sind in ihren wesentlichen Aussagen aber auch für UMTS-Netze übertragbar.

Wie ist die typische Immissions-situation?

Bevor die Auswirkung einer Grenzwertabsenkung auf die Struktur der Mobilfunknetze betrachtet wird, muss zunächst die gegenwärtige Lage bezüglich der ortsbezogenen Immissionen durch Mobilfunk-Basisstationen (Immission an einem fes-

wertabsenkungen und auf die Gesamtimmission durch Basisstationen

ten Ort) diskutiert werden, um abzuschätzen, wie viel „Luft zu den Grenzwerten“ vorhanden ist (d.h. in welchem Maße die jetzigen Grenzwerte ausgeschöpft sind). Dies lässt sich rechentechnisch abschätzen bzw. messtechnisch ermitteln. Gerade im messtechnischen Bereich sind hierzu in letzter Zeit, auch mit der vorliegenden Studie, mehrere Untersuchungen durchgeführt und veröffentlicht worden, z.B. [1-4].

Alle diese Untersuchungen kommen zu ähnlichen Resultaten: Sämtliche außerhalb des Sicherheitsabstandes von Basisstationen gemessenen Mobilfunk-Immissionen liegen, auch bei Orten in unmittelbarer Nähe der Anlage, unterhalb und zum Teil weit unterhalb der für Deutschland geltenden Grenzwerte der 26. BImSchV (26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes). Zieht man zum Vergleich die Schweizer Anlagenwerte für Orte mit empfindlicher Nutzung heran [5], stellt man fest, dass nur an einigen wenigen Messorten diese Anlagengrenzwerte erreicht oder überschritten werden.

Diese grundsätzliche Aussage lässt sich auch mittels einfacher rechentechnischer Abschätzungen gewinnen: In Bild 1 ist der berechnete Verlauf der Immissionsgröße Leistungsflussdichte in Abhängigkeit des (lateralen, d.h. seitlichen) Abstandes von einer Basisstation abgebildet. Hierbei wurde eine handelsübliche Sektorantenne Kathrein K 735147 mit 2° elektrischem und 0° mechanischem Downtilt (der Downtilt ist die Abwärtsneigung der Antenne) betrachtet. Der Höhenunterschied zwischen Sendeantenne und Immissionsort sei 5 m. Als Rechenmodell wurde das Freiraumausbreitungsmodell angesetzt, das auch von

der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) zur Berechnung des Sicherheitsabstandes für die Standortbescheinigung verwendet wird. Parameter in Bild 1 ist die gesamte in die Sektorantenne eingespeiste Leistung. Folgende allgemeine Aussagen lassen sich aus Bild 1 treffen:

1. Im Entfernungsbereich bis ca. 80 m (abhängig von der Höhe der installierten Antenne) schwankt die Immission sehr stark. Dies erklärt sich dadurch, dass der gesamte Bereich der Nebenzipfel (neben der Hauptstrahlrichtung gibt es Nebenstrahlrichtungen, die sog. Nebenzipfel) der Antenne durchlaufen wird. Erst ab ca. 80 m fällt die Immission gleichmäßig mit der Entfernung ab; hier befindet man sich in der Hauptstrahlrichtung. Abhängig von der verwendeten Antenne kann es auch im Bereich der Nebenzipfel laterale Abstände geben, bei denen die Immission vergleichbar mit derjenigen in Hauptstrahlrichtung ist.

2. Eine Veränderung der Sendeleistung verschiebt die Immissionskurve in vertikaler Richtung. Unter Sendeleistung wird hier die in einen Sektor *insgesamt* abgestrahlte, maximale Leistung bei Anlagenvolllast verstanden, d.h. Kanalzahl x maximale Sendeleistung pro Kanal. 5 W und 20 W sind gängige Werte bei vielen Basisstationen. 50 W können für einzelne Anlagen auftreten, die maximal mit Sendekanälen bestückt sind; dies ist aber schon als nicht allgemeiner Fall anzusehen. 100 W sind für eine einzelne Anlage/Sektor sicherlich unrealistisch. Es ist jedoch denkbar, dass ein Standort von mehreren Netzbetreibern gleichzeitig genutzt wird bzw. dass ein Netzbetreiber auf einem ihm zur Verfügung stehenden Standort neben der GSM Sendeanlage auch noch eine UMTS Sendeanlage aufbaut. Bei ähnlicher Ausrichtung der Sektorantennen können sich dann die abgestrahlten Leistungen überlagern.

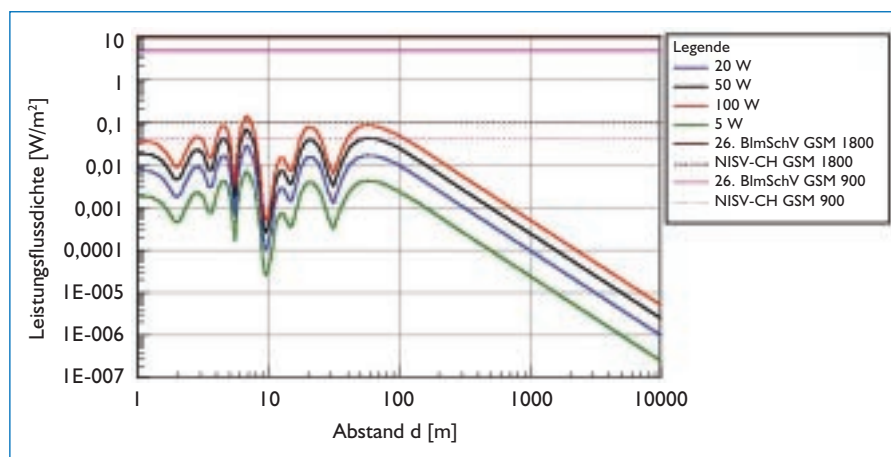


Bild 1: Berechneter Verlauf der Leistungsflussdichte in Abhängigkeit vom lateralen Abstand bei Variation der Sendeleistung; ein Sektor, Höhendifferenz zwischen Sender- und Empfängerort 5 m, Freiraumausbreitung

3. Die Grenzwerte der 26. BImSchV werden bei allen angesetzten Sendeleistungen unterschritten. Bei 50 W und 100 W insgesamt Sektorleistung können jedoch die Schweizer Anlagenwerte (NISV-CH) erreicht oder gar überschritten werden. (Bild 1)

Selbstverständlich hängt die ortsbezogene Immission noch von zahlreichen weiteren Faktoren ab, wie z.B. Art der Sendeanenne, Downtilt, Höhenunterschied zwischen Sender und Empfängerstandort, Ausrichtung der Antennen und den Ausbreitungsverhältnissen zwischen Sender- und Empfängerort (inkl. Sichtverhältnisse).

Gesamtmission

Definiert man nun im Gegensatz zur ortsbezogenen Immission die *Gesamtmission* als die gesamte auf die Umwelt (d.h. Erdboden, Bäume, Häuser usw.) eingestrahlte Leistung der Basisstationen, lässt sich bereits hier aus dem oben Gesagten eine wichtige Schlussfolgerung ableiten:

Eine Absenkung der Personenschutzgrenzwerte um z.B. den Faktor 100 (um diesen Faktor sind die Schweizer Anlagengrenzwerte bezüglich der Leistungsflussdichte schärfer als die Grenzwerte der 26. BImSchV) würde sich nicht in einer um den Faktor 100 niedrigeren Gesamtmission widerspiegeln, sondern die Reduzierung der Gesamtmission fiel wesentlich geringer aus.

Grund für diese Aussage ist der Fakt, dass die tatsächlich vorliegenden, ortsbezogenen Immissionen je nach Anlage und Art der angrenzenden Bebauung in der Regel um einige Zehnerpotenzen unterhalb der Grenzwerte der 26. BImSchV liegen und nur an wenigen Orten die Schweizer Anlagenwerte erreichen oder überschreiten. Maßnahmen zur Reduzierung der ortsbezogenen Immissionen wären wegen des großen Sicherheitsabstandes zu den gesetzlichen Grenzwerten

- nur an den Anlagen, die die Schweizer Anlagenwerte überschreiten, und dort
- nur in wesentlich geringerem Umfang als die Absenkung der Grenzwerte

notwendig. Eine Grenzwertabsenkung um einen Faktor x würde sich nur dann in gleicher Weise auf die Gesamtmission niederschlagen, wenn an allen Stationen die gesetzlichen Grenzwerte erreicht würden. Dies ist aber nachweislich nicht der Fall.

Eine Absenkung der Personenschutzgrenzwerte um z.B. den Faktor 100 würde sich nicht in einer um den Faktor 100 niedrigeren Gesamtmission widerspiegeln, sondern die Reduzierung der Gesamtmission fiel wesentlich geringer aus.

Als Maßnahmen zur Reduzierung der ortsbezogenen Immission stehen z.B. folgende anlagenbezogene Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Reduzierung der maximalen Sendeleistung der Basisstation,
2. Vergrößerung der Höhendifferenz zwischen Basisstation und Immissionsort, z.B. durch Erhöhung des Senderstandortes.

Welche Konsequenzen diese Maßnahmen auf die Struktur der Mobilfunknetze (Zellgröße, Dichte der Basisstationen usw.) und auf die Gesamtmission haben, soll theoretisch mittels einer Simulation im folgenden am Beispiel eines kleinstädtischen Gebietes untersucht werden. Hierbei wird ein im Vergleich zum vorangegangenen Abschnitt verfeinertes Wellenausbreitungsmodell angesetzt. Das ist notwendig, da das Freiraumausbreitungsmodell zwar in unmittelbarer Nähe der Anlage korrekte, aber an den Zellgrenzen aus Sicht der Funkversorgung viel zu optimistische Versorgungswerte liefert. Gerade die realistische Berechnung der Zellgrößen ist aber für die nun folgenden Untersuchungen von entscheidender Bedeutung.

Mit dem sog. COST-Walfisch-Ikegami (COST-WI) Modell [6] wird daher ein numerisches Modell eingesetzt, das speziell für städtische Umgebung geeignet ist und Einsatz bei der Funknetzplanung findet. Im COST-WI Modell werden im Gegensatz

zum Freiraummodell sowohl Sichtverhältnisse, als auch statistische Gebäude- und Straßendetails berücksichtigt.

Reduzierung der Sendeleistung der Basisstation

Eine Reduzierung der Sendeleistung einer Basisstation kann auf verschiedene Weise erfolgen, z.B. durch

1. Reduzierung der Kanalsendeleistung bei gleichbleibender Anzahl der Kanäle pro Anlage,
2. Reduzierung der Anzahl der Kanäle und Auslagerung auf neue Stationen, und
3. Umbau von Standorten, die von mehreren Netzbetreibern gemeinsam genutzt werden, in der Weise, dass nur noch ein Betreiber pro Standort vorhanden ist.

Im folgenden wird ausführlich auf die erste Möglichkeit eingegangen.

Wird die Kanalsendeleistung verringert, dann verringert sich auch der Radius der Mobilfunkzelle, da am Zellrand die Leistungsflussdichte der Station nicht mehr ausreicht, um ein Gespräch zu führen. Die Verringerung der Zellgröße ist in Bild 2a für ein Kleinstadtszenario mit einer Kanalsendeleistung von 5 W und einer Stationshöhe von 15 m gezeigt: Bei 5 W Sendeleistung (entspricht 0 dB Veränderung der Sendeleistung) beträgt der Zellradius etwa 1800 m. Wird die Sendeleistung um 3 dB reduziert, also von 5 W auf 2,5 W, verringert sich der Zellradius auf etwa 1500 m.

Bild 2b zeigt, wie sich die Änderung des Zellradius in einer Änderung der Zellfläche widerspiegelt. Um weiterhin eine flächendeckende Versorgung mit Mobilfunk zu gewährleisten und keine Versorgungslücken entstehen zu lassen, müssen entsprechend mehr Basisstationen errichtet werden. Die Änderung der Zahl der Basisstationen verhält sich gegenläufig zur Änderung der Zellfläche (rechte Achse in Bild 2b). 100 % der Zellfläche bzw. Anzahl der Basisstationen entsprechen dem Originalzustand. Bei Reduzierung der Sendeleistung um 3 dB reduziert sich die Zell-

fläche auf ca. 70 % des ursprünglichen Wertes. Die Anzahl der Basisstationen müsste um 40 % steigen.

Besonders interessant ist an dieser Stelle ein Blick auf die Gesamtsendeleistung dieses neuen Netzes: Muss in das neue Netz verdichteter, aber mit kleinerer Einzelleistung sendender Basisstationen mehr oder weniger Leistung eingespeist werden als in das ursprüngliche? Da sich die Gesamtmission proportional zur insgesamt eingespeisten Sendeleistung verhält, ist hieraus auch eine Aussage bezüglich der Entwicklung der Gesamtmission ableitbar.

Die Antwort lässt sich aus dem jeweiligen Verhältnis von Einzelsendeleistung zur ausgeleuchteten Fläche berechnen; das Ergebnis ist in Bild 2c dargestellt. Hieraus wird ersichtlich, dass bei verringerter Sendeleistung und damit einhergehender Verdichtung der Basisstationen die Gesamtsendeleistung des Netzes und damit auch die Gesamtmission sinkt: Im hier dargestellten Beispiel auf etwa 70 % des Originalwertes bei einer Halbierung der Sendeleistung der einzelnen Stationen.

Damit lässt sich ein wichtiges Ergebnis feststellen:

Durch mehr Basisstationen, die mit einer gegenüber der Ausgangssituation verringerten Kanalsendeleistung senden, sinkt die Gesamtsendeleistung des Netzes und damit auch die Gesamtmission, d.h. die gesamte auf die Umwelt eingestrahlte Leistung der Basisstationen.

Dieser ursprünglich für die Voraussetzung, dass die Kanalzahl pro Anlage unverändert bleibt, berechnete Trend verstärkt sich noch, wenn zusätzlich Kanäle auf neue Anlagen ausgelagert werden, so dass die Systemkapazität des Netzes konstant bleibt. Eine Einbeziehung der mobilfunktypischen Leistungsregelung, die bei obigen Berechnungen vorerst nicht berücksichtigt wurde, verstärkt den Trend ebenfalls. Ein Umbau von gemeinsam genutzten Standorten auf Einfachnutzung verringert zwar die ortsbezogenen Immissionen, hat jedoch keinen Einfluss auf die Gesamtmission,

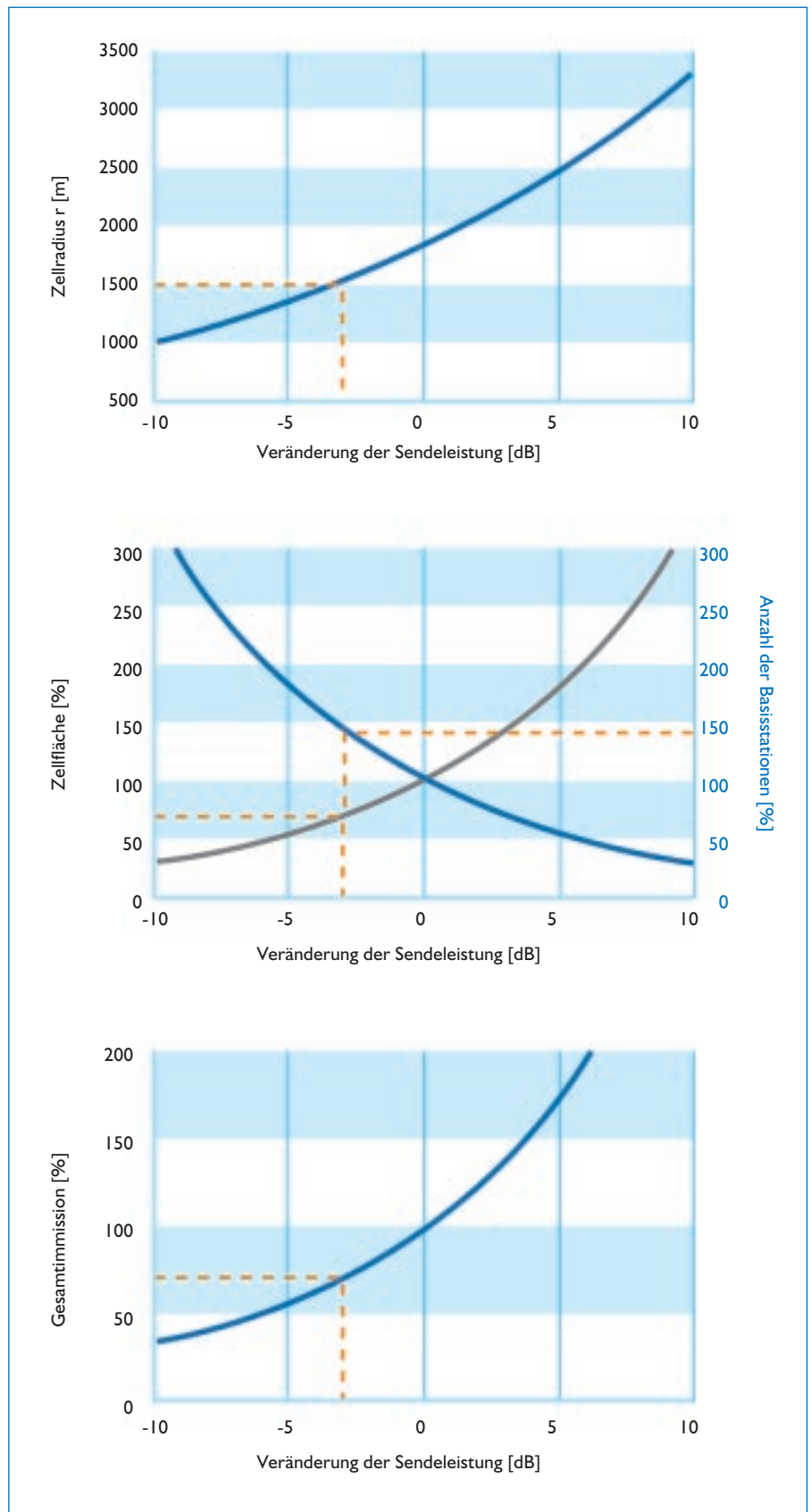


Bild 2a-c: Abhängigkeit von Zellradius (oben), Zellfläche bzw. Anzahl der Basisstationen (Mitte) sowie Gesamtmission (unten) von der auf den ursprünglichen Zustand bezogenen Sendeleistung der Basisstation; Kleinstadtszenario, COST-WI Modell

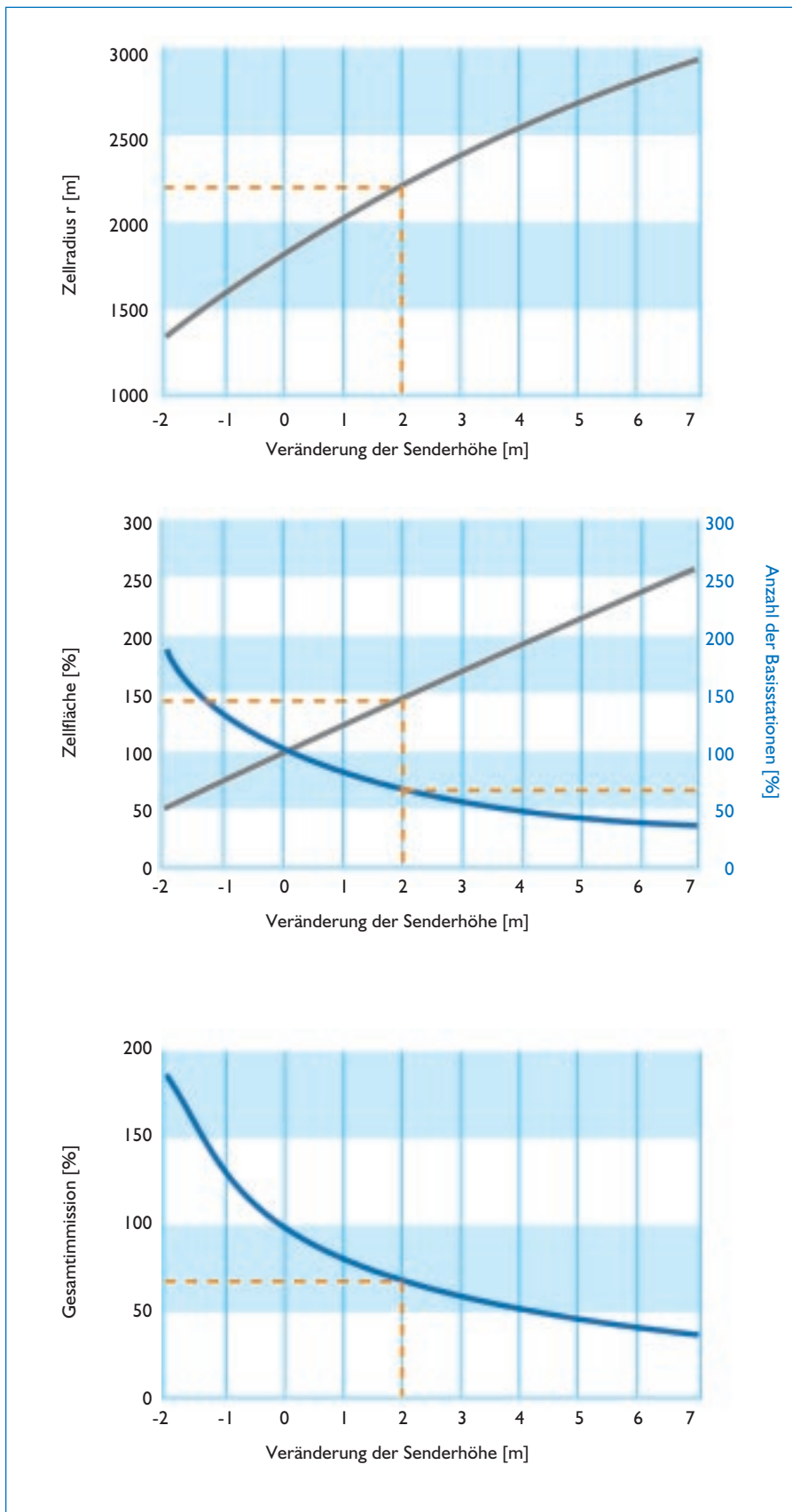


Bild 3a-c: Abhängigkeit von Zellradius (oben), Zellfläche bzw. Anzahl der Basisstationen (Mitte) sowie Gesamtmission (unten) von der auf den ursprünglichen Zustand bezogenen Senderhöhe der Basisstation; Kleinstadtszenario, COST-WI Modell

da jeder Netzbetreiber sein eigenes Netz dann nur versetzt, aber ohne reduzierte Kanalsendeleistung und damit verbundener Verdichtung des Netzes, aufbaut.

Allerdings stehen dem Vorteil der Reduzierung der Gesamtmission auch einige praktische Nachteile gegenüber:

Die Sendeleistung kann nicht beliebig reduziert werden, da dann in Teilbereichen der Funkzelle eine ausreichende Funkversorgung u.U. nicht mehr gegeben ist (z.B. Inhaus-Versorgungslücken). Darüber hinaus ist zu erwarten, dass mit der dann erforderlichen Erhöhung der Zahl der notwendigen Basisstationen auf die Netzbetreiber neben den Mehraufwendungen noch mehr Probleme bei der Standortsuche zukommen. Denn eine erhöhte Anzahl von Basisstationen wird in der Bevölkerung nur schwer zu vermitteln sein. Für den Erfolg eines solchen Konzeptes ist ein konstruktiver Dialog zwischen allen Beteiligten, insbesondere zwischen Netzbetreibern und Kommunen, unbedingte Voraussetzung.

Durch mehr Basisstationen, die mit einer gegenüber der Ausgangssituation verringerten Kanalsendeleistung senden, sinkt die Gesamtsendeleistung des Netzes und damit auch die Gesamtmission. Ein Problem stellt hier u.a. die Vermittlung der mit diesem Konzept einhergehenden Erhöhung der Basisstationsdichte in der Öffentlichkeit dar.

Erhöhung des Standortes der Basisstation

Eine Erhöhung des Basisstationsstandortes führt zu einer verbesserten funktchnischen „Sichtbarkeit“ der Anlage; der Zellradius und die ausgeleuchtete Zellfläche vergrößern sich. Die Anzahl der zur Versorgung des Netzes benötigten Basisstationen nimmt ab. Aufgrund der vergrößerten Zellflächen ist bei konstanter Sendeleistung die Gesamtsendeleistung und damit auch die Gesamtmission gegenüber dem ursprünglichem Zustand kleiner.

Für das schon im vorigen Abschnitt verwendete Kleinstadtszenario sind die Simulationen für eine veränderte Stationshöhe in den Bildern 3a, 3b und 3c beschrieben.

Wird z.B. der Sender um 2 m, d.h. hier von 15 auf 17 m, erhöht, vergrößert sich der Zellradius von ursprünglich 1800 m auf 2200 m (Bild 3a). Dies entspricht einer Vergrößerung der Zellfläche um 50 % (Bild 3b); die Anzahl der Basisstationen könnte auf ca. 70 % des ursprünglichen Wertes reduziert werden. Dadurch würde die Gesamtsendeleistung im Netz und die Gesamtmission auf ca. 70 % des ursprünglichen Wertes sinken (Bild 3c).

Somit führt eine Erhöhung des Standortes der Basisstation zu einer Vergrößerung der Funkzellen und zu einer Verringerung der Zahl der Basisstationen. Die Gesamtsendeleistung des Netzes und damit auch die Gesamtmission verringert sich.

Auch hier gibt es jedoch wieder eine Reihe von praktischen Nachteilen, die beachtet werden müssen: Die Senderstandorte sind nicht beliebig hochsetzbar, da dadurch die Interferenz mit den Nachbarzellen steigt; ein Fakt, der insbesondere für das UMTS-Netz von großer Bedeutung ist. Außerdem würde in der oben geschilderten Beispielsimulation die Systemkapazität, also die Anzahl der maximal möglichen Gespräche pro Fläche, sinken, so dass die Anlagen gegebenenfalls mit neuen Kanälen aufgerüstet werden müssten. Dadurch wird die Sendeleistung erhöht und der Effekt der Verringerung der Gesamtmission abgeschwächt. Ebenso wie bei der im vorigen Abschnitt behandelten Verringerung der Sendeleistung dürfte hier die Suche nach geeigneten Standorten problematisch sein, zumal die Standorte durch die Erhöhung „für jedermann sichtbar“ werden. Baurechtliche Aspekte und ein ästhetisches Stadtbild sind ebenfalls zu berücksichtigen. Auch hier ist also ein konstruktiver Dialog zwischen allen Beteiligten, insbesondere zwischen Netzbetreibern und Kommunen, unabdingbar.

Eine Erhöhung des Standortes der Basisstation führt zu einer Vergrößerung der Funkzellen und zu einer Verringerung der Zahl der Basisstationen. Die Gesamtsendeleistung des Netzes und damit auch die Gesamtmission verringert sich. Demgegenüber sind Interferenzprobleme mit Nachbarzellen zu berücksichtigen. Die „Sichtbarkeit“ der Basisstationen nimmt zu.

Zusammenfassung

An allgemein zugänglichen Orten im Umfeld von Mobilfunksendeanlagen liegen die tatsächlichen ortsbezogenen Immissionen generell *unterhalb und zum Teil weit unterhalb der Grenzwerte der 26. BImSchV*. Da somit „ausreichend Luft“ zu den Grenzwerten vorhanden ist, würde sich eine Grenzwertabsenkung um z.B. den Faktor 100 nicht in einer um den Faktor 100 verringerten Gesamtmission widerspiegeln, sondern die Reduzierung der Gesamtmission fiel wesentlich geringer aus.

Zur Reduzierung der ortsbezogenen Immissionen gibt es die folgenden Möglichkeiten:

- Reduzierung der Sendeleistung,
- Erhöhung des Antennenstandortes.

Eine Reduzierung der Sendeleistung führt zu einer Reduzierung des Zellradius und der Zellfläche im Vergleich zum Ausgangszustand. Dies geht mit einer Erhöhung der Anzahl der benötigten Basisstationen einher. Die gesamte Emission, d.h. die Summe der im neuen, dichteren Netz benötigten Sendeleistungen (Netzsendeleistung), und damit auch die Gesamtmission ist *geringer* als im ursprünglichen Netz. In der Praxis kann die Sendeleistung nicht beliebig reduziert werden, da sonst in Teilbereichen Versorgungslücken entstehen. Außerdem sind Probleme bei der Standortsuche sowie bei der Vermittlung dieses verteilten Konzeptes in der Öffentlichkeit zu erwarten.

Eine Teilung von durch mehrere Netzbetreiber gemeinsam genutzten Standorten als Möglichkeit der Reduzierung der Sende-

leistung hat keinen Einfluss auf die Gesamtmission.

Eine Erhöhung der Basisstationshöhe führt zu einer Vergrößerung der Zellen und dementsprechend zu einer Verringerung der notwendigen Zahl der Basisstationen. Auch in diesem Fall sinkt die Gesamtmission. Im Realfall wird die Erhöhung des Sendestandortes jedoch nicht grenzenlos möglich sein, da dadurch die Interferenz mit den benachbarten Zellen ansteigt und ebenfalls Probleme bei der Standortfindung zu erwarten sind. Für eine Umsetzung beider Konzepte ist ein konstruktiver Dialog zwischen allen Beteiligten, insbesondere zwischen Netzbetreibern und Kommunen, unabdingbar.

Beide Szenarien der Verringerung der Sendeleistung und der Erhöhung des Senderstandortes sind hier isoliert voneinander betrachtet worden. Grundsätzlich besteht allerdings auch die Möglichkeit, beide Varianten zu kombinieren, d.h. bei einer Erhöhung des Sendestandortes die Sendeleistung so zu reduzieren, dass die Zellradien gleich bleiben.

Bei allen vorgestellten Ergebnissen handelt es sich um *beispielhafte* Rechnungen. In der Praxis ist es notwendig, *fallbezogen* zu rechnen bzw. zu messen.

Dr. Christian Bornkessel, IMST GmbH
Kamp-Lintfort

Dr. Elke Stöcker-Meier, Ministerium für
Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und
Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes NRW

Literatur

1. Chr. Bornkessel, M. Neikes und A. Schramm: *Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunk Basisstationen*, IMST-Report, Kamp-Lintfort, (2002).
2. Chr. Bornkessel und M. Neikes; *Messung der Hochfrequenzstrahlung von Mobilfunk-Sendeanlagen in Düsseldorf*, Umweltfachgespräch „Mobilfunk in Düsseldorf“ am 29.05.2002, Düsseldorf, (2002).
3. M. Wuschek: *Messtechnische Ermittlung hochfrequenter elektromagnetischer Felder an repräsentativen Orten in Schleswig-Holstein*, Messbericht, München, (2002).
4. E. Sauer: *Immissionsschutz-Messungen (Mobilfunk) in Schwerin*, Messbericht, Hamburg, (2003).
5. NISV, *Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung*, Schweizerischer Bundesrat, 23. Dezember 1999.
6. COST-231, *Digital mobile radio towards future generation systems*, Final report, (1999).