

Mobilfunk in Liechtenstein- Studie zur Immissionssituation

Teil 1: Theoretischer Teil + Grundlagen

Auftraggeber: Regierung des Fürstentums Liechtenstein

Ausführung: enorm GmbH Mühldorfstrasse 8, D-81671 München
www.enorm.de, mail@enorm.de
Telefon: +49(0)89 17094709
Telefax: +49(0)89 17094719

Ansprechpartner/ Verf.: Dipl.- Ing.(Univ.) Stefan M. Greger

Verfasser: Dipl.-Phys. Franz Hompf

Ort, Datum: München, den 26.09.2005

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung.....	5
2.	Einleitung/ Danksagung	7
3.	Studieninhalt	9
3.1.	Aufgabenstellung.....	9
3.2.	Auftraggeber	10
3.3.	Mitarbeiter und Kontaktpersonen	11
3.4.	Projektgruppe Auftragnehmer	11
3.5.	eingesetzte Mittel und Verfahren.....	11
3.6.	Zeitraahmen.....	12
4.	Rahmenbedingungen im Studiengebiet.....	13
4.1.	Fürstentum Liechtenstein.....	13
4.1.1.	Geografie, Topografie,	13
4.1.2.	Bevölkerung, Berufspendler, Tourismus	14
4.2.	Rechtliche Einflussfaktoren, z.B. in Anlehnung an Schweizer Recht	14
4.2.1.	Baugesetzgebung.....	14
4.2.2.	NIS- Verordnung.....	15
4.2.3.	Diskussion um Verordnungen mit Vorsorgewerten.....	21
4.3.	Wirtschaftliche Bedingungen, Innovation, Bedeutung der Branche Telekommunikation	22
4.4.	Soziologische Auslöser, Konflikte um Senderstandorte, Bürgerinitiativen.....	25
4.5.	Grenzwerte und Vergleichsmaßstäbe.....	26
5.	Versorgung	28
5.1.	Physikalisch- technisches Umfeld	28
5.1.1.	Betrachtete Frequenzen und Systeme des Mobilfunks	28
5.1.2.	Begriffe und Einheiten	34
5.1.3.	GSM- Standard – Kapazität und Eigenheiten (gepulst)	40
5.1.4.	UMTS- Standard – Kapazität und Eigenheiten,.....	43
5.1.5.	Richtfunk, Behördenfunk, Bündelfunk	44
5.1.6.	Bluetooth, W-LAN, WI-max, WLL, NFC u.s.w.....	45
5.1.7.	Versorgungsanspruch und zukünftige Datenrate	48
5.1.8.	Traffic analyse soft/hard capacity	49
5.1.9.	Physikalische Kenngrößen als Qualitätsmerkmale	49
5.1.10.	Ausbreitungsmodelle (Freiraum),	50
5.2.	Wirtschaftlicher Rahmen	52
5.2.1.	Lizenzvergabe, Auflagen	52

5.2.2.	Planungssicherheit.....	52
5.2.3.	Dienste, Angebote, Nutzungsszenarien.....	54
5.2.4.	Kosten und Investitionen.....	55
6.	Status Quo der Netze.....	61
6.1.	Luftbild als Übersichtskarte.....	61
6.2.	Standortliste und Fotodokumentation	61
6.3.	Messdokumentation	62
6.4.	Versorgungssituation über die Staatsgrenzen hinweg.....	62
6.4.1.	Einloggen in Liechtensteiner Netze	63
6.4.2.	Einloggen in Schweizer Netze	65
7.	Immissionsschutz.....	68
7.1.	„Bedenklichkeit“ elektromagnetischer Felder	68
7.2.	Verursacherprinzip und ethischer Ansatz.....	68
7.3.	Vorsorgeprinzip.....	69
7.4.	Emission- Immission	75
7.5.	EMV- EMVU: Verträglichkeit und Umweltverträglichkeit	77
7.6.	Untersuchungen der Wissenschaft	77
7.6.1.	Studienergebnisse zu EMF und Lenkung.....	78
7.6.2.	Senkung Grenzwerte, Presseerklärung der Bundesregierung	78
7.6.3.	Risikoabschätzung.....	78
7.6.4.	Umgang mit Wissen und Unsicherheit.....	79
7.6.5.	Erfahrungen mit freiwilligen Selbstverpflichtungen der Industrie	80
7.7.	Grundsätzliche Lenkungsansätze	80
7.7.1.	Basisgrenzwert(e) / Grenz- und Schwellwerte.....	81
7.7.2.	Flächendeckende Grenzwerte, Nutzungsarten- Bauzonen.....	83
7.7.3.	OMEN- Konzept	84
7.7.4.	Mindestabstände.....	84
7.7.5.	Schutzzonenprinzip (Rückzugszonen oder EM- freie Gebiete).....	85
7.7.6.	„minimal emission“ als Qualitätskriterium	85
7.7.7.	Leistungsabhängige Emissionskosten	86
7.7.8.	Sendeanlagenabgabe	87
8.	Feldreduzierende Maßnahmen.....	88
8.1.	Allgemein: Prinzip, Einsatz, Grenzen, Kosten	88
8.2.	Kategorie A: Stand der Technik.....	89
8.2.1.	Abstand und Höhendifferenz Station zu Endgerät.....	89
8.2.2.	Lage von Basisstationen (zu bebauten Gebieten)	93
8.2.3.	Funkübertragung in beide Richtungen	93
8.2.4.	Hierarchie der Versorgungsstandorte.....	95
8.2.5.	Leistungsbegrenzung (ab initio + dynamisch)	99
8.2.6.	Antenna Diversity	102

8.2.7.	Repeater- Konzepte und deren Einsatzmöglichkeiten	105
8.2.8.	UHS- UltraHighSite Konzept, Patent E-Plus	107
8.3.	Kategorie B: Entwicklungen	109
8.3.1.	Einsatz von Modulationsverfahren zur Kapazitätssteigerung.....	109
8.3.2.	Antennenkonzepte (z.B. Smart Antennas, Beam forming,...).....	111
8.3.3.	Beam Forming:.....	113
8.3.4.	Trennung von Empfangs- und Sendeantennen in Baugebieten:	115
8.4.	Kategorie C: Zukunft.....	116
8.4.1.	MIMO: Multiple-Input Multiple-Output.....	116
8.4.2.	Multihopping, Netze auf Basis der Teilnehmer	119
8.4.3.	Ein gemeinsames UMTS- Netz: M- RAN	121
8.5.	Bewertung und Vergleich aller Möglichkeiten- Vorschlag für theoretische Anwendung.....	121
8.6.	Einhaltung und Kontrolle.....	123
9.	<i>Ansatz in Liechtenstein</i>	125
9.1.	Vergleich theoretisch ermittelter Möglichkeiten mit Aufgabenstellung	125
9.2.	Einschränkende Faktoren	125
9.3.	Bewertung, Auswahl und Entscheidungsgrundlage	126
9.4.	Auswertung, Bewertung, Kostenvergleich.....	126
9.5.	Empfehlung.....	127
9.6.	Exkurs und Wertung	128
9.7.	Ausblick weiterer Forschungsbedarf	130
10.	<i>Abbildungsverzeichnis.....</i>	131
11.	<i>Autorenerklärung.....</i>	133

1. Zusammenfassung

Die Liechtensteiner Mobilfunknetze liegen bereits heute fast überall **unter dem Anlagengrenzwert** von 5 V/m. Unter den Bedingungen und Annahmen, die in der Studie ermittelt wurden, scheint es sogar möglich, den Geltungsbereich des OMEN-Grenzwertes zu erweitern, z.B. ihn landesweit für bebaute Gebiete in der ebenerdigen Messhöhe und im Freien anzuwenden. Beim Erlass jeglichen Grenzwertes muss berücksichtigt werden, dass der jetzige Immissionsgrenzwert **überall** gilt. Selbst wenn gezeigt werden konnte, dass in 1,5 m Höhe der Anlagengrenzwert schon heute überall eingehalten ist, kann dieser aber nicht automatisch an die Stelle des universal gültigen Immissionsgrenzwertes rücken.

Es wurde prinzipiell aufgezeigt, dass eine Nichtüberschreitung zu 95% im Vergleich zu Mittelwerten von 50% zu erheblichen Unterschieden (fast Faktor 3) der zulässigen Grenzfeldstärke führt.

Es konnten **Alternativszenarien aufgezeigt werden, die zu einer weiteren Absenkung der Immission** führen. Die Verwirklichung solcher Szenarien hängt aber von der Bereitschaft der Nachbarstaaten ab, ihrerseits die Immission nach Liechtenstein zu verringern. Hier ist nur ein Zug um Zug –Szenario denkbar.

Im Talgebiet Liechtensteins wird die Mobilfunkimmission weitgehend vom Ausland dominiert. Ein **komplettes Abschalten aller Liechtensteiner Basisstationen würde die Immission hier nur um ca. 30 %** senken. Ein einseitiger, nationaler Zwang zu einer weiteren Senkung der Immission für Liechtensteiner Betreiber würde in der Konsequenz zum Entzug der wirtschaftlichen Grundlage führen.

Im Alpengebiet Steg - Malbun ist momentan kein messbarer Auslandseinfluss gegeben. Hier könnten daher im Alleingang niedrigere Grenzwerte erfüllt werden, falls man solche für diese Region separat erlassen möchte. Ein **flächendeckender Grenzwert von 0,02 V/m** im Gebiet von Steg und Malbun würde in bebauten Gebieten nicht nur zum Verlust der Indoor- Telefonie, sondern zu erheblichen Abdeckungslücken im Freien führen.

Die Immissionsbelastung durch die Mobilfunktelefone selbst und anderer hochfrequenter Immissionen ist nicht zu vernachlässigen. **Ein Vorsorgewert von 0,02 V/m nur für Mobilfunk führt**, angewendet auf Mobilfunkbasisstationen im Alpengebiet durch die bedingt höheren Leistungen der Endgeräte und Sender anderer Frequenzen **zu gegenteiligen** oder bei Berücksichtigung anderer Frequenzen **zu keinen wesentlichen Immissionsschutzeffekten**. Ein Grenzwert nur für den Mobilfunk und noch eher für nur dessen Basisstationen wäre nicht zu begründen.

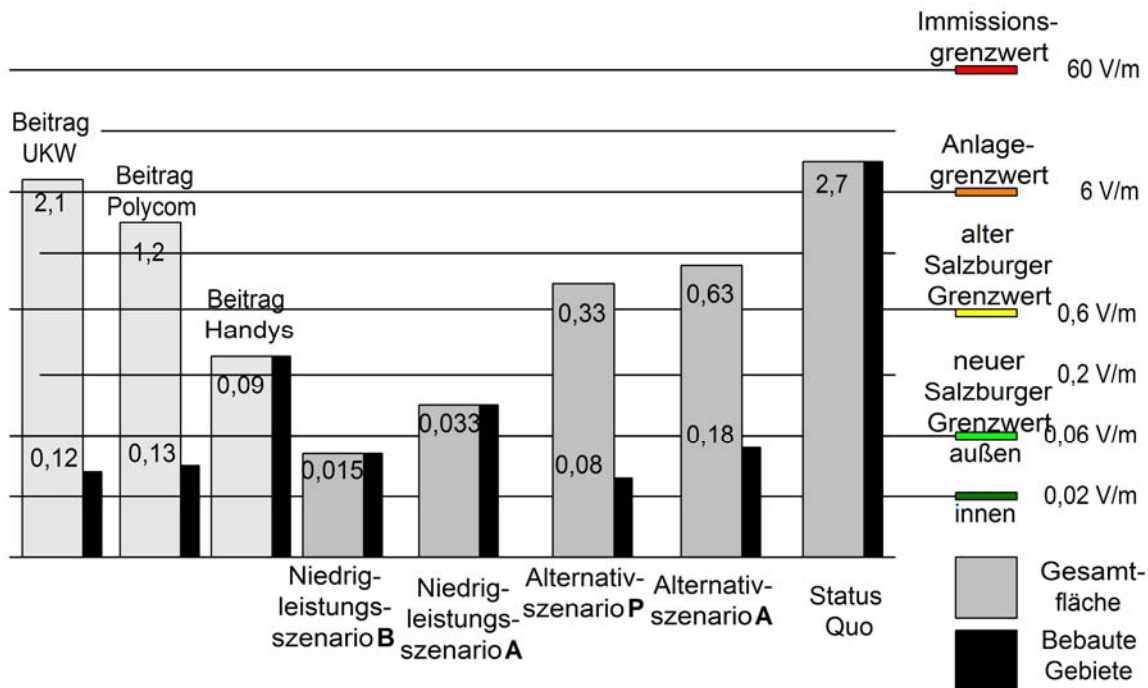


Abbildung 1-1.: Schematischer Vergleich der Immissionen (mittlere Feldstärke) in den untersuchten Varianten; Die Zahl bedeutet die größte mittlere Feldstärke, die Höhe des Balkens zeigt schematisch die Größenordnung bei 95% Unterschreitungswahrscheinlichkeit, also etwa dem Dreifachen des mittleren Maximalwertes.

Fazit:

1. Die vorliegende, oben nochmals zusammenfassend geschilderte Situation in Liechtenstein lässt aus technischer Sicht eine Empfehlung für einen neuen, nationalen Immissionsgrenzwert nicht zu.

2. Wirkliches Senkungspotential im gesamten Staatsgebiet besteht aufgrund der geringen Staatsgröße nur in Kooperation mit den Nachbarländern. Einen Ausblick auf die Größenordnung einer möglichen Senkung mit heutiger Technik gibt das skizzierte Standortkonzept.

3. Ist im Gebiet Steg - Malbun eine Sonderlösung anzustreben, sind vernünftigerweise alle Immissionsquellen zu berücksichtigen. Das konkret vorgestellte und bewertete Standortszenario A bedeutet nicht nur eine erhebliche Verbesserung zum heutigen Zustand, sondern einen fast optimalen Kompromiss aus technischer Optimierung von Versorgung und Immissionsschutz und wird daher von uns, unabhängig von evtl. gesetzlichen Änderungen, zur Umsetzung empfohlen.

2. Einleitung/ Danksagung

„Den Fachleuten stellt sich die schwierige Aufgabe, Informationen zu liefern, die von dem Mann auf der Straße auch verstanden werden. Das bedeutet, dass sie sich einfacher ausdrücken müssen. Tun sie das nicht, übernehmen die Medien diese Aufgabe. Doch dann besteht die Gefahr, dass ihre Informationen falsch wiedergegeben werden. Das gilt insbesondere für EMF. Die meisten Menschen haben nämlich eine sehr diffuse Vorstellung von elektromagnetischen Kräften und erkennen in diesen unsichtbaren, alles durchdringenden Wellen eine drohende Gefahr.“¹

Hinter dieser Bewertung der WHO steckt viel Wahrheit. Es darf jedoch nicht der Zynismus der Überlegenheit von Fachleuten entstehen und so ein weiterer versteckter Versuch der Selbstbehauptung in einem schwer zu durchschauenden Themenfeld. In einem so mit Vorurteilen und Spannungen beladenen Umfeld nicht über die eigene Voreingenommenheit zu stolpern, ist eine schwierige Hürde. Es ist uns bewusst, dass Menschen diese Studie aus sehr unterschiedlichen Beweggründen und mit unterschiedlicher Vorinformation lesen, und wir diesen sehr unterschiedlichen Adressatenkreis erreichen sollen.

Wir werden daher in einigen Fällen bewusst weiter ausholen, als dies im engeren Sinne des Auftrags eigentlich notwendig gewesen wäre. Damit sollen einerseits Grundlagen mitgeliefert werden, die unserem Verständnis nach die Ergebnisse der Studie **besser vermitteln** helfen, andererseits ist es der Versuch, die eine oder andere **Frage und Kritik vorwegzunehmen** und bereits mit der Studie zu beantworten. Es lassen sich auch einige Passagen nicht vermeiden, die einen lehrenden und erklärenden Duktus tragen, was wir in jedem anderen Sachverständigengutachten gerne vermeiden.

Es macht den besonderen Reiz dieses Studienauftrages aus, zu untersuchen, welche Möglichkeiten und Erfolge die Immissionsminimierung der Mobilfunknetze in sich trägt, wenn man unabhängig von wirtschaftlichen Widerständen und nationalen Beschränkungen, quasi mit Unterstützung des Gesetzgebers alle technischen Randbedingungen zugunsten eines Optimums minimierter Felder einsetzen kann. In unserer Erwartungshaltung vor Bearbeitung musste es doch möglich sein, mit niedrigeren Feldbelastungen Mobilfunknetze zu betreiben, allerdings waren wir interessiert in welcher Größenordnung sich die Senkungen unter verschiedenen Szenarien belaufen könnten. Genau diese Erwartungshaltung auch im Sinne des Umweltschutzes spiegelt sich teilweise wörtlich in den Formulierungen der Aufgabenstellung wieder. Es soll unser Ziel sein, zu zeigen, wie sich anhand von Zwischenergebnissen das Studienziel teilweise erweiterte und, auch zu unserer eigenen Überraschung, unerwartet veränderte.

¹ WHO- STRAHLENSCHUTZ & UMWELTHYGIENE, ABTEILUNG SCHUTZ DER MENSCHLICHEN UMWELT, WELTGESUNDHEITSORGANISATION: Herstellen EINES DIALOGS ÜBER DIE RISIKEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER, GENF, SCHWEIZ 2002, deutsche Übersetzung; S.48;

Es ist aufgrund eines zwar bekannten Themas, aber der für den Netzplaner ungewöhnlichen Sichtweise auf das Problem der Versorgung nicht zu vermeiden, dass man nur teilweise die gewohnten Bahnen verlässt und dabei über eigene Denkmuster stolpert. Wir wollen daher auch nicht verhehlen, dass es innerhalb der Arbeitsgruppe langwierige und teils heftige Diskussionen und unterschiedliche Einschätzungen über manche Zwänge und die Machbarkeit gab. Wir sind nicht nur deswegen sehr interessiert an kollegialen Meinungsäußerungen und fachlicher Kritik. Wir würden uns sehr freuen, wenn solche Anmerkungen direkt und persönlich an uns herangetragen werden.

Dass dabei ein kleines, wenn auch vermögendes Land wie Liechtenstein die „Größe“ aufweist, eine solche Grundlagenstudie in Auftrag zu geben, und nicht ein großer Flächenstaat, ist nicht unerwartet.

Wir **bedanken uns bei unserem Auftraggeber**, dem Fürstentum Liechtenstein, vertreten in der Regierung durch die Mitarbeiter Johann Pingitzer und Stefan Hassler, das Amt für Umweltschutz, vertreten durch Helmut Kindle und das Amt für Kommunikation vertreten durch Kurt Bühler und Herbert Huser für die jederzeitige Unterstützung und die fachlichen und fruchtbaren Diskussionen während der Erfüllung des Auftrags.

3. Studieninhalt

3.1. Aufgabenstellung

Mit Schreiben der Regierung des Fürstentums Liechtenstein vom 14.7.2004 (RA 2004/ 1793-8611) wurde unter dem Stichwort „Gesetz über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung- Kenntnisaufnahme der Vernehmlassungsergebnisse und weiteres Vorgehen“ bekannt gegeben:

„Die Regierung hat in ihrer Sitzung vom 13.Juli 2004 folgende Entscheidungen getroffen:

....

2.1. In einer unabhängigen Studie soll die Frage geklärt werden, wie das Mobilfunknetz unter der Prämisse möglichst geringer Belastung durch nichtionisierende Strahlung zu gestalten wäre und ob sich daraus die Möglichkeit tieferer Grenzwerte ergibt, als sie in der Vernehmlassungsvorlage vorgesehen waren. Fragen in Zusammenhang mit einem solchen Netz hinsichtlich Kostenfolgen für Mobilfunkbetreiber und Endkunden, der Versorgungssicherheit sowie zu Überlagerungseffekten durch ausländische Netze sind zumindest in erster Annäherung abzuklären. Das Ressort Umwelt, Raum, Land- und Waldwirtschaft wird beauftragt, in Zusammenarbeit mit den betroffenen Amtsstellen die Durchführung dieser Studie in die Wege zu leiten.“

Nach mehreren Gesprächen, Offerten und Rückfragen wurde dazu der enorm GmbH; München der Auftrag erteilt.

Der Auftrag ist am umfassendsten umschrieben in der Pressemitteilung Nr. 638 der Regierung des Fürstentums Liechtenstein vom 17.November 2004:

„Studie zum Mobilfunk in Auftrag gegeben

Machbarkeit des Salzburger Grenzwertes wird geprüft

*Vaduz, 17. November 2004 (pafl) - Die Regierung hat an ihrer Sitzung vom 16. November 2004 die Firma enorm GmbH, München, mit der Erstellung einer Studie zum Mobilfunknetz beauftragt. Dabei soll geklärt werden, **wie das Mobilfunknetz in Liechtenstein bei möglichst geringer Belastung durch nicht-ionisierende Strahlung (NIS) ausgestaltet werden kann.** Mit der Studie sollen Grundlagen geschaffen werden, um fundiert zu klären, ob **tieferer Grenzwerte festgelegt werden könnten** als in der NIS-Vernehmlassungsvorlage vorgesehen. Damit verbundene **Konsequenzen hinsichtlich der Kosten für die Mobilfunkbetreiber und Endkunden, der Gewährung der Versorgungssicherheit sowie der Überlagerungseffekte durch ausländische Netze** sollen in erster Annäherung evaluiert werden.*

Der Auftrag beinhaltet die Berücksichtigung verschiedener spezieller Fragen: Etwa eine Gegenüberstellung von verschiedenen Standortszenarien und Alternativen mit dem Ziel der Erreichung einer möglichst geringen Exposition durch nicht-ionisierende Strahlung; die Beachtung diverser diskutierter Grenzwerte, insbesondere des Salzburger Grenzwertes; oder alternativ die Möglichkeit, Grenzwerte gebietsbezogen nach deren Nutzungsart festzulegen. Zudem soll in einer Machbarkeitsanalyse geprüft werden, ob die Siedlungen im Berggebiet derart versorgt werden können, dass ein Telefonieren einerseits nur im Freien möglich ist und andererseits nicht besiedelte Gebiete im Berggebiet nur minimal versorgt werden.

Unabhängige Studie

Der Auftragnehmer arbeitet im Rahmen des Auftrages wirtschaftlich und fachlich unabhängig von Interessen bzw. Interessensvertretern und auf dem neusten fachlichen Stand der Technik. Es sind ihm seitens des Auftraggebers keine Einschränkungen und Grenzen gesetzt, die dem Projektziel entgegenstehen.

Hintergrund dieser Entscheidung der Regierung ist die Vernehmlassung zum Gesetz über den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (NISG). Die Regierung hat in ihrer Sitzung vom 13. Juli 2004 die Ergebnisse der Stellungnahmen zum Vernehmlassungsentwurf zur Kenntnis genommen. Die Schaffung gesetzlicher Grundlagen für den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung und die grundsätzliche Ausrichtung der Gesetzesvorlage an den entsprechenden schweizerischen Bestimmungen wurden mit großer Mehrheit befürwortet. Inhaltlich wurde bezüglich der verschiedenen Quellen von nicht-ionisierender Strahlung vor allem auf die Thematik der Mobilkommunikation eingegangen. Bei der Bewertung der vorhandenen Erkenntnisse und Grundlagen sowie der Vernehmlassungsvorlage gingen die Ansichten erwartungsgemäß sehr weit auseinander. Im Mittelpunkt der Äußerungen stand insbesondere die Frage, ob das Mobilfunknetz auch bei tieferen Grenzwerten betrieben werden könnte als im Vernehmlassungsentwurf vorgesehen. Auf technischer Ebene wurde diese Frage in der Vernehmlassung nicht beantwortet, weshalb die Regierung beschloss, dieser Frage mit einer unabhängigen Studie nachzugehen.

Versorgung im Berggebiet

Die Gemeinde Triesenberg hat in ihrer Stellungnahme zum Vernehmlassungsbericht und anlässlich der Sitzung vom 18. Oktober 2004 mit Vertretern der Regierung, des Amtes für Umweltschutz und des Amtes für Kommunikation geäußert, dass sie für eine möglichst geringe Strahlenbelastung in den Siedlungsgebieten Malbun und Steg eintritt, dass sie es als ausreichend erachtet, wenn im besiedelten Alpengebiet das Telefonieren mittels Mobilfunk im Freien gewährleistet ist und dass sie im nicht besiedelten Alpengebiet keine Erhöhung der Versorgung wünscht. Mit einer Petition in diesem Zusammenhang wird gefordert, dass in Triesenberg ohne Zustimmung der Bevölkerung keine weiteren Mobilfunkantennen (GSM und UMTS) aufgestellt werden dürfen, dass die heutigen Mobilfunkantennen beim Tunnel und jene in Malbun abgebrochen werden müssen und dass in Triesenberg und im Alpengebiet eine Maximalbelastung von 0,02 V/m eingehalten wird. Der Frage zur Ausgestaltung des Mobilfunknetzes unter der Bedingung, dass das Telefonieren in den Berggebietssiedlungen nur im Freien zu gewährleisten wäre, wird in der nun in Auftrag gegebenen Studie ebenfalls nachgegangen.“

Insbesondere anhand der fett gedruckten Textpassagen wird deutlich, dass zur Beantwortung der Aufgabenstellung auch eine Reihe von Begriffsklärungen und Verständnisvoraussetzungen geschaffen werden müssen, die unabdingbar bereits zur Fragestellung gehören und die möglichen Antworten wesentlich beeinflussen können. Daher nehmen diese Grundlagen teilweise einen erheblichen Umfang in dieser Studie ein. Es ist aus unserer Interpretation der Aufgabenstellung unabdingbar, dass die Studie verständliche Zusammenhänge zielgruppengerecht aufzeigt und die Lösungen darauf aufbauen, dass alle interessierten Kreise eine spätere Entscheidung seitens der Regierung nachvollziehen können.

3.2. Auftraggeber

Regierung des Fürstentums Liechtenstein

Städtle 49
9490 Vaduz
Fürstentum Liechtenstein

3.3. Mitarbeiter und Kontaktpersonen

Johannes Pingitzer, ab 1.5.2005 Stefan Hassler
Vertreter der Regierung für das Ressort Umwelt

Telefonnummer (+423) 236 60 93
Faxnummer (+423) 236 61 84

Kurt Bühler, Amtsleiter
Herbert Huser, Technische Regulierung

Amt für Kommunikation
Kirchstrasse 10
9490 Vaduz
Fürstentum Liechtenstein

Telefonnummer (+423) 236 64 88
Faxnummer (+423) 236 64 89

Helmut Kindle, Abt. Lärm, Luft und nichtionisierende Strahlung

Amt für Umweltschutz
Postfach 684
9490 Vaduz
Liechtenstein

Telefonnummer (+423) 236 61 91
Faxnummer (+423) 236 61 99

3.4. Projektgruppe Auftragnehmer

Projektleiter/ Redaktion: Dipl. Ing. Stefan M. Greger
Projektleiter Technik: Dipl. Phys. Franz Hompf
Projektleiter Messung: Dipl. Ing. Helmut Deliano
Projektgruppe: Dipl. Ing. Michael Oesterreicher;
Dipl. Ing. Michael Stephan,
Dipl. Ing. Ronald Fabian,

3.5. eingesetzte Mittel und Verfahren

Aufgrund vielfältiger Untersuchungen im Bereich der Feldminimierungen in deutschen Gemeinden haben sich eine Reihe von Methoden und Verfahren entwickelt und bewährt, die auch hier für die Studie eingesetzt wurden.

Zum Verständnis der Aufgabenstellung und zur Entwicklung realistischer Möglichkeiten gehört unserer Erfahrung nach die örtliche Kenntnis

- der **Topografie** (durch mehrere, mehrtägige Ortstermine und Geländesurveys, 3d Geländemodelle aus Luftbilder entwickelt),
- der **Morphologie** (Dichte und Art der Bebauung, der Gebietsarten und Nutzungen, Infrastruktur, etc.),
- der vorhandenen **Mobilfunkstandorte** (Begehungen, Fotodokumentationen, Vergleich mit Betriebsstandsmeldungen)
- der eingesetzten **Frequenzen und Feldstärken** (HF- Messungen mit Spektrumanalyser, parallele Beobachtungen mit Net Monitor Modus) und
- der Rückschlüsse auf vorhandenen und zukünftigen Funkverkehr, im Durchschnitt und Spitzenlastzeiten (anhand der heutigen Kanäle, im Vergleich mit ähnlichen Gebieten)

Aus dieser Kenntnis des Status Quo lassen sich umfassende Daten, in allen Details zumindest grobe Rückschlüsse ziehen auf die bisherige Art und Dichte der Versorgung, evtl. Probleme und Lösungsansätze. Dabei spielen die Beobachtungen individueller Versorgungsansätze einzelner Netzbetreiber ebenso eine Rolle, wie die Zusammenschau aller Möglichkeiten und Bedürfnisse einer Flächenversorgung über die einzelnen Netze hinweg.

Für zukünftige Lösungsansätze und Vorschläge sind die Kenntnis neuer Entwicklungen und Standards Voraussetzung, eine wichtige Informationsquelle bietet neben Planungen an anderer Stelle die Fachliteratur. Medium ist häufig das Internet. Diese Überlegungen fassen wir als zweiten Schritt zusammen in theoretischen Ansätzen zur Immissionsminimierung.

In einem dritten Schritt und anhand der eigens entwickelten Software CORLA lassen sich die messtechnischen Daten und Angaben in einem Modell nachprüfen, sind anhand der Messungen die Ausbreitungen zu eichen und über eine sehr genaue Prädiktion die theoretischen Ansätze zu simulieren und zu überprüfen. In den Auswertungen sollen Vorschläge gemacht und Szenarien überprüft werden, die es der Regierung erlauben, im Rahmen der geplanten Gesetzgebung über die nächsten Schritte zu entscheiden.

3.6. Zeitrahmen

Bei der Beauftragung im November 2004 wurde ein Zeitplan erstellt, der Grundlage für das Projekt sein sollte. Wie sich anhand der Messergebnisse und erster grenzübergreifender Beobachtungen herausstellte, waren zusätzliche Erfassungen und Betrachtungen über die Annahmen bei der Projektkalkulation hinaus notwendig. Dafür wurde ein Zusatzauftrag erteilt und die Fertigstellung des Projektes wurde entsprechend verlängert.

4. Rahmenbedingungen im Studiengebiet

4.1. Fürstentum Liechtenstein

4.1.1. Geografie, Topografie,

Folgende Rahmenbedingungen sind für die in Auftrag gegebene Studie zu berücksichtigen bzw. von Bedeutung. Das Fürstentum Liechtenstein besteht geografisch aus drei typischen Landesteilen

- der Rheinebene rechts des Flusses in einer Breite von 2 bis 5 km, unterbrochen durch die Anhöhen von Eschen, mit einem Talausgang Richtung Feldkirch
- dem ansteigenden Westhang, v.a. mit der Gemeinde Triesenberg
- dem sog. Alpengebiet, Steg+ Malbun

In der folgenden Abbildung sind die Aufteilungen in die 11 Gemeindegebiete erkennbar.



Abbildung 1-2. (Übersicht Gemeindegrenzen, Quelle: : LLV Portal, download Mai 2005)

Fläche:	ca.	160 km ²
Bebaute Fläche	ca.	21 km ²
Größte Breite	ca.	12 km
Größte Länge	ca.	25 km
Höhe über N.N.		430 – 2599 m
Länge der Landesgrenzen		41 km mit Schweiz 35 km mit Österreich

Die zur Erstellung des 3D- Modells notwendigen Luftaufnahmen wurden vom Tiefbauamt des Fürstentums Liechtenstein zur Verfügung gestellt.

Flugdatum:	7./8. August 2003
Auflösung:	25 cm, 50 cm, 100 cm (insgesamt 103 Kacheln)
Format:	TIF (ca. 150MB pro Kachel bei 25cm/24 bit)
Georeferenzierung:	LV03-FL
Farbauflösung:	24 bit (auch 8 bit für Pixelgröße 25cm)

4.1.2. Bevölkerung, Berufspendler, Tourismus

Folgende Rahmenbedingungen sind für die in Auftrag gegebene Studie zu berücksichtigen bzw. von Bedeutung

Einwohnerzahl	ca. 33.000
Beschäftigte	ca. 29.000 davon Berufspendler ca. 13.000 (davon 5.500 aus Österreich/ 7.000 aus Schweiz/ 500 aus Deutschland)
Größte Berufsgruppe	Handel/ Dienstleistung ca. 52%
Touristen	ca. 120.000 (Übernachtungen/ Jahr)

4.2. Rechtliche Einflussfaktoren, z.B. in Anlehnung an Schweizer Recht

4.2.1. Baugesetzgebung

Ähnlich wie in der Schweiz gibt es in Liechtenstein eine strikte Grenze zwischen den Bauzonen und einem Außenbereich als strenge Bauverbotszone. Dieser staatlichen Regelung scheint man aber wie andersorts in Gemeinden auch durch die großzügige Ausweisung von Freiflächen als Bauzonen frühzeitig begegnet zu sein. Es ist daher ein hohes Maß von Zersiedlung anzufinden.

Diese Beobachtung ist nur insofern für die Studie von Bedeutung, als es kaum noch völlig unbebaute Flächen gibt, Standortalternativen sich also regelmäßig mit der Nachbarschaft von Wohnbauten und Bauzonen auseinandersetzen müssen.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass in der im folgenden Kapitel erklärten NISV auch ein rechtlicher Verweis auf die Baugesetzgebung getroffen ist und daher

auch etwaige Vorbehalte aus dem Baurecht mit einer immissionsschutzrechtlichen Standortbescheinigung abschließend erledigt sind.

Baugesetzbuch (BauG) „Art. 43 Art des Betriebes und der Bewirtschaftung

1) ...

2) *Bauten und Anlagen, deren Betrieb zu übermäßigen Auswirkungen durch Lärm, Erschütterung, Geruch, Abgase, Staub, **Strahlen und dergleichen** führen können, sind durch geeignete Vorkehrungen derart zu gestalten und zu betreiben, dass übermäßige oder nach dem Ortsgebrauch nicht zumutbare Einwirkungen auf die Nachbarn ausgeschlossen sind. Die Regierung kann durch Verordnung **höchstzulässige Emissionswerte** festlegen.*“

NISV: „III. Verfahren nach dem Baugesetz, Art. 20. Prüfung von Grenzwerten

3) *Die in dieser Verordnung festgelegten Emissionsbegrenzungen und Immissionsgrenzwerte gelten **ebenfalls** als **höchstzulässige Emissionsgrenzwerte** im Sinne von Art. 43 und 50 BauG.*

4) *Hält eine Anlage die in dieser Verordnung festgelegten Grenzwerte ein, ist eine Gefährdung von Mensch und Tier im Sinne von Art. 50 Abs. 1 und 2 BauG auszuschließen.*“²

Des Weiteren enthält das BauG Regelungen, die für den Bau von größeren Anlagen und Masten im Innen- und Außenbereich relevant sein könnten.

„Art. 6 Ortsbild- und Landschaftsschutz

2) *Bewilligungspflichtige Bauten und Anlagen haben sich in das Orts- und Landschaftsbild einzufügen. Bei Bauvorhaben, die nach Maßgabe der eingereichten Unterlagen geeignet sind, das Orts- und Landschaftsbild zu beeinträchtigen, haben die Baubehörden die Naturschutz- und Denkmalschutzkommission anzuhören. Gegebenenfalls ist die Bewilligung mit Bedingungen und Auflagen zu versehen oder zu versagen.*“³

4.2.2. NIS- Verordnung

Die Liechtensteiner „Verordnung vom 21. November 2000 über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung ortsfester Sendeanlagen von Telekommunikationssystemen“, im folgenden abgekürzt **NISV** lehnt sich eng an die Schweizer NISV an, weist aber darüber hinaus auch einige **Unterschiede** auf.

Für das Verständnis beider NIS- Verordnungen ist eine grundsätzliche Einführung des Schweizer Bundesamtes in den Immissionsschutz hilfreich:

“Der rechtliche Rahmen für die NISV ist im Schweizer Umweltschutzgesetz (USG) von 1983 vorgegeben. In diesem Gesetz sind neben Luftverunreinigungen, Lärm und Erschütterungen auch nichtionisierende Strahlen als Einwirkungen bezeichnet, die so zu begrenzen sind, dass sie für den Menschen und die Umwelt weder schädlich noch lästig sind.

² Quelle: „Verordnung vom 21. November 2000 über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung ortsfester Sendeanlagen von Telekommunikationssystemen“, im folgenden abgekürzt NISV; aus Liechtensteinisches Landesgesetzblatt, Jahrgang 2000, Nr. 231, ausgegeben am 29. November 2000, Gesetzsammlung Nr. 784.101.6

³ Quelle: „Baugesetz“, im folgenden abgekürzt BauG; aus Liechtensteinisches Landesgesetzblatt, Jahrgang 1947, Nr. 44, ausgegeben am 17. September 1947, Gesetzsammlung Nr. 701.0

Das Schutzkonzept des Umweltschutzgesetzes ist zweistufig angelegt:

1. Stufe: Gefahrenabwehr
2. Stufe: Vorsorge

1. Gefahrenabwehr

Immissionen, die schädlich oder lästig sind, sind nicht zulässig und müssen zwingend reduziert werden. Die Schädlichkeits- bzw. Lästigkeitsschwelle ist in Form von Immissionsgrenzwerten durch den Bundesrat verbindlich festzulegen.

2. Vorsorge

Zusätzlich zur Verhinderung nachgewiesener schädlicher oder lästiger Wirkungen kennt das Umweltschutzgesetz den Vorsorgegrundsatz, wonach Einwirkungen, die schädlich oder lästig werden könnten, im Sinne der Vorsorge so weit zu reduzieren sind, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Dieser Auftrag gilt auch im Bereich unterhalb des Immissionsgrenzwertes. Eine konkrete Gefährdung muss dabei nicht nachgewiesen sein. Das Vorsorgeprinzip dient dazu, potentielle Risiken- insbesondere Langzeitriskiken- zu vermindern, welche infolge des lückenhaften Kenntnisstandes nicht zufriedenstellend bewertet werden können.”⁴

Die NISV beinhaltet insbesondere Regelungen von Immissionsgrenzwerten, Anlagengrenzwerten und die Definition von Orten mit empfindlicher Nutzung kurz OMEN und von Orten für kurzfristigen Aufenthalt OKA.

In Art. 3 werden die wesentlichen Begriffe wie **OMEN** erklärt

„1) Als Orte mit empfindlicher Nutzung gelten:

- a) Räume in Gebäuden, in denen sich Personen regelmäßig während längerer Zeit aufhalten;*
- b) öffentliche oder private, planerisch(resp.CH: raumplanungsrechtlich) festgesetzte Kinderspielplätze;*
- c) diejenigen Flächen von unüberbauten Grundstücken, auf denen Nutzungen nach den Bst. a und b zugelassen sind.“⁵*

Es sind Kinderspielplätze eigens aufgeführt, weil gewisse Verdachtsmomente für schädliche Wirkungen vor allem bezogen auf Kinder vorliegen. Der Garten eines privaten Eigenheims hingegen gilt **nicht** als Ort mit empfindlicher Nutzung, ebenso wenig wie Kirchen, Campingplätze, Balkone und Freizeitanlagen.

Es handelt sich also zum Ersten um **Räume**, in denen mit längerem Aufenthalt von Personen gerechnet werden muss. Dazu gehören insbesondere Wohnräume, Schulräume, Patientenzimmer in Krankenhäusern und Altersheimen sowie Arbeitsplätze, an denen sich Arbeitnehmer vorwiegend aufhalten, z.B. Büros.

⁴ BUWAL, Quelle: http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_nis/vorschriften/grundlagen/index.html, download vom 16.5.2005

⁵ Quelle: „Verordnung vom 21. November 2000 über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung ortsfester Sendeanlagen von Telekommunikationssystemen“, NISV; aus Liechtensteinisches Landesgesetzblatt, Jahrgang 2000, Nr. 231, ausgegeben am 29. November 2000, Gesetzsammlung Nr. 784.101.6

„Zu den "Räumen in Gebäuden, in denen sich Personen regelmäßig während längerer Zeit aufhalten" gehören beispielsweise

- Wohnräume
- Schulräume und Kindergärten
- Spitäler, Alters- und Pflegeheime
- ständige Arbeitsplätze.

Als **ständiger Arbeitsplatz** gilt in der Schweiz gemäss Definition des Staatssekretariats für Wirtschaft SECO ein Arbeitsbereich, wenn er während mehr als 2 ½ Tagen pro Woche durch einen Arbeitnehmer bzw. eine Arbeitnehmerin oder auch durch mehrere Personen nacheinander besetzt ist. Dieser Arbeitsbereich kann auf einen kleinen Raumbereich begrenzt sein oder sich über den ganzen Raum erstrecken⁶.

Weiterhin sind nicht überbaute Bauzonen gleich zu behandeln, wie wenn die nach der geltenden Planung dort möglichen Bauten bereits bestehen würden.

Gesamtimmissionsbegrenzung:

Sie regelt u.A. die Begrenzung der gesamten Emissionen von ortsfesten Anlagen wie Sende- und Radaranlagen. Sie legt dazu Immissionsgrenzwerte zum Schutz vor schädlichen Einwirkungen fest. Diese Immissionsgrenzwerte müssen überall eingehalten werden, wo sich Menschen aufhalten können⁷. Sie gelten für die gesamte Strahlung, welche an einem bestimmten Ort, der auch ein OKA sein kann, von allen vorhandenen Strahlungsquellen insgesamt verursacht wird.

Der Immissionsgrenzwert für den Effektivwert der elektrischen Feldstärke ist von der Frequenz abhängig. Art. 18 „Immissionen mit einer einzigen Frequenz“ der Liechtensteiner NISV regelt „1) Die Immissionsgrenzwerte für den Effektivwert der elektrischen Feldstärke, der magnetischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte betragen⁸“:

Frequenz	Immissionsgrenzwert für den Effektivwert der			Mittelungsdauer (Minuten)
	elektrischen Feldstärke $E_{G,f}$ (V/m)	magnetischen Feldstärke $H_{G,f}$ (A/m)	magnetischen Flussdichte $B_{G,f}$ (µT)	

⁶ BUWAL, Vollzugsempfehlung zur NISV, Mobilfunk Quelle: http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/luft/nis/vorschriften/ve_mobilfunk_d.pdf, download vom 28.2.2005

⁷ Regelung der Liechtensteiner NISV: „C. Immissionen; 1. Geltung und Ermittlung; Art. 16 Geltung der Immissionsgrenzwerte: 1) Die Immissionsgrenzwerte gemäss Abschnitt C. Ziff. 2 müssen überall eingehalten sein, wo sich Menschen aufhalten können“; a.a.O. Anmerkung: eine Zeitangabe für die Dauer des Aufenthalts ist als Beschränkung nicht vorgesehen, evtl. jedoch aus den Vollzugsbestimmungen und der Mittelungsdauer abzuleiten;

⁸ Die Schweizer Regelung lautet gleich in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 1 der NISV: „Für Hochfrequenzstrahlung beträgt der Rechenweg:....“ a.a.O.

10 - 400 MHz	28	0.073	0.092	6
400 - 2000 MHz	1.375 · $\sqrt{f}$	0.0037 · $\sqrt{f}$	0.0046 · $\sqrt{f}$	6
2 - 10 GHz	61	0.16	0.20	6
10 - 300 GHz	61	0.16	0.20	$68 / f^{1.05}$

Abbildung 1-3. (Tabelle IMMISSIONSGRENZWERTE NACH LIECHTENSTEINER NISV, ART.18, 1))

Zurzeit gelten also in Übereinstimmung mit vielen nationalen Gesetzen oder Verordnungen, u.a. der Schweizer NISV die Richtlinien der ICNIRP als Verordnungswert mit folgenden für den Mobilfunk maßgeblichen Grenzwerten der elektrischen Feldstärke und der daraus abgeleiteten Leistungsflussdichte oder auch Strahlungsintensität (gerundet):

Frequenz	Immissions-grenzwert Feldstärke [V/m]	Immissionsgrenzwert äquivalente Leistungsflussdichte [W/m²] / [mW/m²]	Immissionsgrenzwert äquivalente Leistungsflussdichte [mW/cm²]
400 MHz	28	(2.3/ 2.300)	(0.2)
900 MHz	41	4.5 / 4.500	0.5
1800 MHz	58	9 / 9.000	0.9
2 GHz	61	10 / 10.000	1

Abbildung 1-4. (Tabelle GRENZWERTE NACH ICNIRP EMPFEHLUNGEN, in Klammern stehen die vom Verf. ergänzten Werte, bzw. ist auch ergänzt die zusätzliche Einheit mW/m²)

Die Immissionsgrenzwerte der Tabelle gelten direkt, wenn nur die Strahlung des betreffenden Funkdienstes vorhanden ist. Sind zwei oder mehr Funkdienste und / oder noch andere Strahlungsquellen im Frequenzbereich von 10 kHz bis 300 GHz (z.B. Rundfunk) am gleichen Standort vorhanden, müssen deren Strahlungsbeiträge gemeinsam beurteilt werden. Dazu wird laut NISV Art. 19 „Immissionen mit mehreren Frequenzen“ vorgegeben:

„1) Sind verschiedene Frequenzen gleichzeitig vorhanden, so werden die Immissionen für jede Frequenz einzeln ermittelt.

2) Die so ermittelten Immissionen werden nach Abs. 4 mit einem frequenzabhängigen Faktor gewichtet und summiert.

3) Der Immissionsgrenzwert für jede der nach Abs. 4 berechneten Summen beträgt 1.“

So gelangt für die elektrische Feldstärke die Summierungsvorschrift

$$\sqrt{\sum_{100\text{ kHz}}^{1\text{ MHz}} \left(\frac{E_f}{87} \right)^2 \cdot f + \sum_{>1\text{ MHz}}^{300\text{ GHz}} \left(\frac{E_f}{E_{G,f}} \right)^2}$$

zur Anwendung⁹. Die NISV begrenzt also nicht nur die Strahlung einer einzelnen Anlage, sondern auch die Hochfrequenzstrahlung insgesamt, unabhängig von ihrer Herkunft:

⁹ In der Schweiz gelangen die Summierungsvorschriften nach Anhang 2 Ziffer 222 NISV zur Anwendung; a.a.O.; In diesem Fall wird zuerst jeder Strahlungsbeitrag einzeln ermittelt und es wird berechnet, bis zu welchem Grad (in %) er „seinen“ Immissionsgrenzwert ausschöpft. Diese einzelnen „Ausschöpfungsgrade“ werden anschließend addiert. Als Ergebnis erhält man die Angabe, zu wie viel

Darüber hinaus gibt es in der Liechtensteiner NISV in **1. Grundsätze und allgemeine Vorschriften Art. 5 Emissionsbegrenzung** auch Regelungen für den Fall der Überschreitung von Grenzwerten:

- 1)
- 2) *Steht fest oder ist zu erwarten, dass ein oder mehrere Immissionsgrenzwerte nach Abschnitt C. Ziff. 2 durch eine einzelne Anlage allein oder durch mehrere Anlagen zusammen überschritten werden, so ordnet das Amt für Kommunikation ergänzende oder verschärfte Emissionsbegrenzungen so weit an, bis die Immissionsgrenzwerte eingehalten werden.*

Auch die Schweizer NISV enthält diese Regelung (Art. 5 Abs. 1+2 NISV):

Art. 5 Ergänzende und verschärfte Emissionsbegrenzung

- 1) *Steht fest oder ist zu erwarten, dass ein oder mehrere Immissionsgrenzwerte nach Anhang 2 durch eine einzelne Anlage allein oder durch mehrere Anlagen zusammen überschritten werden, so ordnet die Behörde ergänzende oder verschärfte Emissionsbegrenzungen an.*
- 2) *Sie ordnet ergänzende oder verschärfte Emissionsbegrenzungen so weit an, bis die Immissionsgrenzwerte eingehalten werden.*

Aus der Sicht und Erfahrung vieler Messingenieure ist festzustellen, dass dieser Fall fast auszuschließen ist, denn die o.g. Grenzwerte der zulässigen Gesamtbelastung sind so angesetzt, dass sie durch die heutige Technik und mit den üblichen Leistungen im Mobilfunk bereits nach wenigen Metern Abstand zur Quelle unterschritten werden. Es lässt sich anhand vieler Serienmessungen zeigen, dass diese Werte mit diesem errechneten Abstand zumindest im Freien nirgends überschritten sind. Im Nahbereich vieler Quellen auf engem Raum, zum Beispiel durch DECT- und WLAN Sender können Überschreitungen der Belastung für betroffene Personen regelmäßig auftreten. Hierfür aber ist die NISV nicht mehr anzuwenden.

Anlagegrenzwert:

NISV Art. 3 Begriffe

„4) Der Anlagegrenzwert ist eine Emissionsbegrenzung für die von einer Anlage allein erzeugte Strahlung“.

Der Anlagegrenzwert begrenzt die von einer Anlage allein erzeugte Strahlung und ist bestimmungsgemäß niedriger als der Immissionsgrenzwert. (Faktor 10 bei der

% die Strahlung der Anlage insgesamt den Immissionsgrenzwert ausschöpft. Die entsprechende Berechnungsformel lautet:

Ausschöpfung des
Immissionsgrenzwertes (in %):

$$100 \cdot \sqrt{\sum_p \left(\frac{E_p}{IGW_p} \right)^2}$$

Dabei bedeuten:

- p Funkdienst, der auf der Anlage implementiert ist
- E_p elektrische Feldstärke der Strahlung des Funkdienstes p, in V/m
- IGW_p Immissionsgrenzwert für den Funkdienst p, in V/m

Zu summieren ist über alle Funkdienste p für Mobilfunk und WLL, welche auf der untersuchten Anlage implementiert sind.

Feldstärke/ Faktor 100 bei der Leistungsflussdichte). Er gilt für „Neue und bestehende Sendeanlagen von zellularen Mobilfunknetzen und von Sendeanlagen für drahtlose Teilnehmeranschlüsse mit einer gesamten äquivalenten Strahlungsleistung (ERP) von mindestens 6 W“, die Hochrechnung erfolgt auf den maßgebenden Betriebszustand. Als **maßgebender Betriebszustand gilt der maximale Gesprächs- und Datenverkehr bei maximaler Sendeleistung** (Liechtenstein: NISV Art. 10; oder CH: Anhang 1 Ziffer 63 NISV).

NISV „Art. 9 Geltungsbereich und Grundsatz

1) ...

2) Eine Anlage umfasst alle Sendeantennen für die Funkdienste gemäss Abs. 1, die auf einem Mast angebracht sind oder die in einem engen räumlichen Zusammenhang, namentlich auf dem Dach des gleichen Gebäudes, stehen.“¹⁰

Vorsorgliche Emissionsbegrenzungen sind insbesondere dort von Bedeutung, wo sich Personen regelmäßig während längerer Zeit aufhalten, an Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN) nach Definition. Befinden sich im Einwirkungsbereich einer Anlage Orte mit empfindlicher Nutzung, so gelten für diese Anlage die strengeren Emissionsbegrenzungen, es muss an diesen Orten der höhere „Anlagegrenzwert“ eingehalten werden. Befinden sich mehrere Betreiber auf einer Anlage, muss der Anlagengrenzwert in der Summe unterschritten werden.

Durch seinen Bezug auf Orte mit empfindlicher Nutzung hat der Anlagegrenzwert auch einen räumlichen Aspekt. Nicht nur die technischen und betrieblichen Daten der Anlage selbst spielen eine Rolle. Auch der Standort der Anlage in Bezug auf die von ihr betroffene Umgebung ist von Bedeutung.

Zur Zeit gelten in Übereinstimmung mit der Schweizer NISV folgende für den Mobilfunk maßgeblichen Anlagengrenzwerte (gerundet):

Frequenz	Immissionsgrenzwert Feldstärke [V/m]	Immissionsgrenzwert Leistungsflussdichte [W/m²]/ [mW/m²]	Immissionsgrenzwert Leistungsflussdichte [mW/cm²]
nicht Mobilfunk	(3)		
900 MHz	4	0.04 / 40	0.004
1800 MHz	6	0.1 / 100	0.01
900+1800 MHz	5	0.07 / 70	0.007
2 GHz	(6)	0.1 / 100	0.01

Abbildung 1-5. (Tabelle ANLAGENGRENZWERTE, in Klammern stehen die vom Verf. ergänzten Werte, bzw. ist ergänzt die zusätzliche Einheit mW/m²)

¹⁰ auch CH-NISV, Anlagedefinition: „Als Anlage gelten alle Sendeantennen für die Funkdienste nach Ziffer 61, die auf demselben Mast angebracht sind oder die in einem engen räumlichen Zusammenhang, namentlich auf dem Dach des gleichen Gebäudes, stehen“

4.2.3. Diskussion um Verordnungen mit Vorsorgewerten

Wiederum wg. der Nähe zu den Schweizer Bedingungen sei ein Exkurs in die Diskussion um die Einführung der Schweizer NIS- Verordnung erlaubt. Unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung sollte laut Intention des Schweizer Gesetzgebers der Anlagegrenzwert so tief angesetzt werden, wie dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist¹¹. Dies ist nur teilweise versucht worden, denn eigentlich „müsste die Schweiz eigene Immissionsgrenzwerte schaffen, die den Kriterien des USG entsprächen. Davon hat man allerdings abgesehen, insbesondere deshalb, weil dies auf der vorliegenden Datenbasis noch nicht möglich war.“¹²

Man stützt in dem zitierten Bericht die Kritik am eigenen Verordnungswerk auf folgende Einschätzung:

„Im Bereich der Hochfrequenz-Sendeanlagen):

- Die ICNIRP- Grenzwerte schützen den menschlichen Körper vor einer unzulässigen Erwärmung.
- Die ICNIRP- Grenzwerte berücksichtigen nicht sog. nicht-thermische Wirkungen.

Beispielsweise wurde experimentell beim Menschen eine Beeinflussung des Schlafs bei 14 V/m nachgewiesen. Mäuse entwickelten signifikant häufiger Lymphknotenkrebs unter dem Einfluss von Mobilfunkstrahlung mit einer Intensität im Bereich des ICNIRP- Grenzwerts. Ebenfalls unberücksichtigt blieb der Befund der epidemiologischen Untersuchung beim **Kurzwellensender Schwarzenburg**, dass Schlafstörungen ab einer mittleren nächtlichen Belastung von ca. 0.4 V/m gehäuft auftraten.

Die ICNIRP- Grenzwerte vermögen somit mit Sicherheit bestimmte nachgewiesene Schädigungen zu vermeiden. Hingegen vermögen sie den umfassenderen Kriterien des Umweltschutzgesetzes nicht zu genügen. Denn das USG verlangt, dass Immissionsgrenzwerte nicht nur nach dem Stand der Wissenschaft, sondern auch nach dem Stand der Erfahrung festgelegt werden müssen. Zudem müssen dabei nicht nur die Wirkungen auf die allgemeine Bevölkerung, sondern auch die Wirkungen auf Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit, wie Kinder, Kranke, Betagte und Schwangere, berücksichtigt werden“.

Schon kurz nach der Einführung dieser Anlagegrenzwerte, nämlich zu einer geplanten Überarbeitung in 2001, bewertet der Direktor des BUWAL diese Werte als

¹¹ „Der Anlagegrenzwert

- begrenzt die von einer Anlage allein erzeugte Strahlung,
- muss nicht überall, sondern nur an Orten mit empfindlicher Nutzung eingehalten werden,
- soll allfällige Gesundheitsrisiken, über die sich die Wissenschaft zur Zeit noch nicht im Klaren ist (insbesondere Langzeitwirkungen), **im Sinne der Vorsorge** so weit begrenzen, als dies **technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar** ist,
- wurde – im Gegensatz zu den Immissionsgrenzwerten – **nicht** aufgrund gesundheitlicher Untersuchungen, sondern entsprechend den technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten zur Reduktion der Belastung festgelegt.“ BUWAL- Glossar, download unter http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_nis/vorschriften/nisv/glossar/index.html

¹² NISV, Erläuternder Bericht vom 23.12.1999; download unter <http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/luft/nis/vorschriften/1.pdf>;

sehr großzügig: *“Die NIS- Verordnung (...) lassen der Mobilfunkindustrie einen großen Spielraum, um ihren Versorgungsauftrag zu erfüllen. Laut Konzession müssen sie den Handybenutzern ein minimales Empfangssignal zur Verfügung stellen. Dieses ist Größenordnungen schwächer als der Anlagegrenzwert der NISV.”*¹³

Diese Anlagegrenzwerte als sog. Vorsorgewerte werden von verschiedenen Seiten stark kritisiert und ständig diskutiert. Wir erlauben uns an dieser Stelle in der Studie die Anmerkung, dass ihre tatsächlich regulierende Wirkung und Relevanz für die existierenden Netze im Vergleich zu Ländern ohne Anlagengrenzwerte eher überschätzt wird. Zum einen erfüllen auch Anlagen in Deutschland und Österreich, ermittelt unter den gleichen aufgezeigten Bedingungen, fast immer und ohne weitere Maßnahmen diese Werte. Dies ist auch nicht verwunderlich, da die eingesetzte Technik in allen Ländern weitgehend identisch ist und mit denselben Ausgangsparametern arbeitet.

Zum anderen ist der Geltungsbereich stark eingeschränkt: Wenn Innenräume betroffen sind, ist über die vorhandene Gebäudedämmung ein gewisser zusätzlicher Sicherheitsabstand gegeben. Die tatsächlich zu schützenden Orte im Freien sind nur sehr wenige und auf diese wenigen kann in der Planung Rücksicht genommen werden, so dass sich durch die Anwendung der Anlagengrenzwerte kaum Restriktionen in der Planung für Netzbetreiber ergeben.

Andererseits lässt sich aus unserer vergleichenden Sicht mit den bisherigen Erfahrungen eine veränderte, eher sensible Standortauswahl der Betreiber in den Ländern Schweiz oder Liechtenstein im Vergleich mit Österreich oder Deutschland schließen. Hierbei gibt es jedoch auch regional große Unterschiede.

4.3. Wirtschaftliche Bedingungen, Innovation, Bedeutung der Branche Telekommunikation

In Zeiten einer schwierigen wirtschaftlichen Entwicklung, eines globalen Wettbewerbs mit sehr ungleich verteilten Voraussetzungen der Konkurrenten und Standards der Nationen stellt sich für die weitentwickelten Länder die Frage, unter welchen Voraussetzungen

- wirtschaftsfreundliche Rahmenbedingungen
- Innovation als Schlüssel internationaler Wettbewerbsfähigkeit
- Kosteneffizienz der Produktion
- **und** Schutz von Mensch, Umwelt und Ressourcen¹⁴

ermöglicht werden.

¹³ Vortrag Dr. Philippe Roch, Direktor BUWAL, Fachtagung SICTA, 25.09.2001

¹⁴ siehe auch Positionen in “Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft vbw, Verband der Bayerischen Metall- und Elektroindustrie e.V. VBM, Bayerischer Unternehmensverband Metall und Elektro e.V. BayME: Aktuelle Schwerpunkte Umweltpolitik – offene Fragen und Probleme- “Informationsschrift April 2005, S.2.

Es ist für alle Seiten verständlich, dass neue, sich ständig verändernde Gesetze und Rahmenbedingungen auch zu ständigen Auseinandersetzungen führen und hohe Widerstände aufwerfen. Alle Veränderungen in sich bergen die Gefahr der Verunsicherung aller Beteiligten (Verursacher und Betroffene), den Verlust von Planungssicherheit und die Kosten einer Umstellung.

Die Europäische Kommission beschäftigt sich ständig mit den Fragen der Gestaltung dieser Rahmenbedingungen, z.B. der Liberalisierung in Branchen und von Industriesektoren und wird dabei von den Unternehmensverbänden eng beobachtet. So äußert sich der BDI in seiner "Stellungnahme zum Weißbuch für Dienstleistungen von allgemeinem Interesse"¹⁵ zur Entwicklung der Telekommunikationsbranche "die Qualität der Dienste und die Preisgestaltung müssen sich durch einen funktionierenden Wettbewerb auf einem entsprechenden Markt ergeben. Die Vorstellung, einen verstärkten Qualitätswettbewerb durch detaillierte und umfangreiche Regelungen zu fördern ist ein Widerspruch in sich".

Es ist dabei Stand der Diskussion, dass die Natur, die Umwelt und die menschliche Gesundheit außerhalb einer Wettbewerbs- oder Preisdiskussion stehen, wenn zur **Abwehr von echten Gefahren alle Marktteilnehmer Restriktionen** unterworfen werden müssen. Wenn Regierungen zu ordnungspolitischen Maßnahmen greifen, weil wirtschaftliche Handlungen oder Produkte voraussichtlich z.B. zu Umweltschäden führen, so wird von den Verursachern geradezu reflexartig auf

- den freien Markt und die Liberalisierung
- die notwendige Entbürokratisierung und Deregulierung
- die steigenden Preise für den Konsumenten, notfalls den Verbraucherschutz
- die Ungleichbehandlung gg. ausländischen Wettbewerbern
- die bedrohten Arbeitsplätze im Inland

verwiesen. Erst allmählich in einer globalen Umweltdiskussion werden die "echten" Kosten, die Folgekosten und möglichen Umsatzeinbussen¹⁶, die Nachhaltigkeit eigenen Wirtschaftens in die betriebswirtschaftlichen Bilanzen miteinbezogen. Denn eine Kosten- und Nutzenbilanz sieht oft ganz anders aus, und dies auch über längere Zeiträume und für die derzeitigen Profiteure von fehlenden Beschränkungen.

Unbestritten dagegen ist, dass die rasante Entwicklung in der Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK), der hohe technische Standard im weltweiten Vergleich, die Vielzahl von Innovationen und Diensten, natürlich auch mit kuriosen Randerscheinungen, die europaweite Verbreitung einheitlicher Standards und die vergleichsweise gesunkenen Preise das Ergebnis eines "entfesselten" Marktes sind, der Freisetzung von Intelligenz und Kapital in einem Umfeld mit Visionen und Freiräumen.

¹⁵ BDI , Abt. Recht, Wettbewerbspolitik und Versicherung "Stellungnahme zum Weißbuch für Dienstleistungen von allgemeinem Interesse", Berlin 28.4.2005, S. 6 ff.

¹⁶ Auf das drastische Beispiel des Mineralölkonzerns SHELL und die Folgen der geplanten Versenkung der Ölbohrplattform GrandSpa wird verwiesen- in der Folge dessen hat sich der Konzern geradezu mustergültig mit den Folgen der ersten Fehleinschätzung auseinandergesetzt und betreibt heute eine offensive Informationspolitik;

Die Europäische Kommission hat die wichtigsten Kriterien für Entwicklungen in der IuK- Technologie festgestellt:

- hohe Qualität
- Versorgungssicherheit
- hohes Schutzniveau
- Erschwinglichkeit der Dienstleistungen

Auf dieser Basis stellt die weitere Entwicklung aus Sicht der Europäischen Kommission die Weichen für Wohlstand und Fortschritt.

Die Deutsche Bundesregierung, eine rot- grüne Koalition aus SPD/Die Gruenen+B90 plante in der Koalitionsvereinbarung 2002 die Entwicklung der laufenden Legislaturperiode wie folgt:

“Dauerhafte Wettbewerbsfähigkeit auf den Weltmärkten erfordert eine Spitzenposition bei Zukunftstechnologien. Ein dynamischer, zukunftsgerichteter Unternehmenssektor ist nicht nur Garant für neue Arbeitsplätze und wirtschaftliches Wachstum, sondern trägt auch mit immer neuen Produkten zur besseren Befriedigung der Verbraucherwünsche bei. Wir werden deshalb die wettbewerbsorientierte Telekommunikationspolitik fortführen, die schnelle Einführung von UMTS unterstützen und die Einführung des digitalen Rundfunks vorantreiben, damit Verbraucher und Wirtschaft weiterhin von niedrigen Tarifen und einer breiten Angebotspalette profitieren und neue Arbeitsplätze geschaffen werden.”¹⁷

Es ist selbstverständlich, dass ein kleines Land wie **Liechtenstein** im hohen Masse abhängig ist von diesen internationalen Entwicklungen und von gängigen Standards im Ausland. Die Mobilität der Nutzer und Konsumenten, die Entwicklung und Verfügbarkeit von Netzwerktechnik und Endgeräte zu günstigen Preisen machen Eigenentwicklungen auch für größere Nationen teuer und aufwendig, für ein kleines Land wie Liechtenstein sind sie undenkbar.

In Liechtenstein regelt das Telekommunikationsgesetz (TelG) vom 20. Juni 1996 auch diese offenen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und sorgt für die Förderung des „wirksamen und ungehinderten Zugang der Erbringer und Benützer zur Telekommunikation“ gem. Art. 1 Zweck(TelG)

Liechtenstein: Netzbetreiber & Coverage¹⁸

MCC- LandesCode 295

Lizenzvergabe an

Betreibercode Mobilfunkbetreiber Frequenzbänder Konzessionsnr.

¹⁷ Koalitionsvertrag 2002 - 2006 zwischen der SPD und Bündnis90/Die Grünen; 16.10.02, Quelle: **Förderung von Zukunftstechnologien** (Einführung und Auszug zum Mobilfunk), download unter <http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/index.htm> am 16.5.2005;

¹⁸ http://www.gsmworld.com/roaming/gsminfo/cou_li.shtml

295-01	Swisscom Mobile AG (Liechtenstein) (FL GSM)	GSM 900/1.800/ UMTS	RA 0/522
295-02	Orange (Liechtenstein) AG (Orange FL)	GSM 1.800 /UMTS	RA 1/712-3810
295-05	Tele 2 AG Tango (Tango)	GSM 900 / UMTS	RA 0/567 RA 1/3003-3810
295-77	Mobilkom Mobilkom (Liechtenstein) AG (FL1)	GSM 1.800	RA 0/566

Mobilfunkteilnehmer ca. **25.000**

Zahl der Antennenstandorte **22** (Site Sharing, Stand 15.Januar 2005)

Durch den Beitritt Liechtensteins zum Europäischen Wirtschaftsraum ist man den selben Regeln zur Förderung des freien Handels, des wirtschaftlichen Wettbewerbs und der Privatisierung unterworfen, wie es der offene Markt innerhalb der Europäischen Union fordert.

4.4. Soziologische Auslöser, Konflikte um Senderstandorte, Bürgerinitiativen

In Liechtenstein ist der kritische Widerstand gg. dem Einsatz der Funktechnologie und dem Elektrosmog im „Verein Gesundheitsverträglicher Mobilfunk (VGM)“ organisiert. Dieser betreibt eine eigene Homepage unter der URL www.telefonie.li;

Dort wird als eigene Zielsetzung angegeben:

„Der Verein für gesundheitsverträglichen Mobilfunk ist nicht prinzipiell gegen Mobilfunk, sondern strebt einen verantwortungsbewussten Umgang damit an. Dabei gilt es Standorte und Grenzwerte neu zu überdenken. Die Hauptaktivität des Vereins besteht zur Zeit darin, die Bevölkerung zu informieren, rechtliche Hilfestellung für seine Mitglieder bei Einsprachen und Klagen gegen Mobilfunkantennen zu leisten. Trends kann niemand ignorieren, dennoch ist eine kritische Auseinandersetzung mit der "grenzenlosen Freiheit" der Telekommunikation angesagt.“¹⁹

Weiterer Zweck des Vereins ist in den Statuten geregelt.

Da meist eine Betonung des Immissionsschutzes stattfindet, sei hier auch erwähnt, dass aus unseren Erfahrungen eher eine ganze Reihe von Argumenten die Diskussion bewegt und vorantreibt. Diese seien der Vollständigkeit halber erwähnt, um bei Lösungsansätzen auch alle Argumente abwägen zu können.

Neben der Diskussion um den Immissionsschutz finden auch immer mehr andere Argumente Bedeutung, z.B. ist die **Wertminderung von Immobilien** in den Mittelpunkt gerückt:

¹⁹ Quelle: Homepage des VGM, download unter <http://www.telefonie.li>;

„Das (Volks-)Begehren (der *ödp* in Bayern, Anm. d. Verf.) hat eine große Bedeutung für die Hauseigentümer“, sagt Ulrike Kirchhoff, Geschäftsführerin des Bayerischen Haus-, Wohnungs- und Grundbesitzerverbands. Denn die Mehrzahl der Eigentümer „will die Antennen in der Nachbarschaft nicht haben“. Dies gelte ebenso für Mieter. „Auf jeden Fall gibt es Unfrieden“ - meist dann, wenn ein Hausbesitzer die Antenne auf seinem Dach akzeptiert und der Nachbar sich gesundheitlich gefährdet sieht. Das Thema Mobilfunkantennen erhält immer mehr Bedeutung für Immobilienbesitzer - geht es doch schließlich um mögliche Wertminderung von Immobilien“. „Man sollte das Thema von seiner Bedeutung her nicht überschätzen“, sagt Stephan Kippes, Geschäftsführer der Gesellschaft für Immobilienmarktforschung und Berufsbildung in München sowie Sprecher des RDM Bayern. Bei einem Immobilienkauf gebe es viele kaufentscheidende Gründe, und dabei sei eine Mobilfunkantenne ein Aspekt unter vielen anderen. Außer freilich, so räumt auch Kippes ein, „wenn man direkt auf eine schaut“. ²⁰.

Ein anderer Brennpunkt der Debatte ist die **mangelnde Information** und die einseitigen Verfahren. Dr. Ditmar Staffelt, Parl. Staatssekretär beim Bundesminister für Wirtschaft und Technologie teilt seine Einschätzung mit:

„Aus vielen Gesprächen mit Netzbetreibern, kommunalen Spitzenverbänden und Bürgerinitiativen wissen wir, dass die Quelle für den Unmut und die Besorgnisse in der Bevölkerung häufig das eklatante Defizit an Information ist. Die Kommunen wissen oft nicht, wer da auf ihrem Terrain was aufbaut, und können ihren Bürgern oder auch einer örtlichen Initiative keine Auskunft geben. Bürger sehen in ihrer näheren und weiteren Umgebung „in einer Nacht- und- Nebel-Aktion“ Funkmaste aufschießen, über die sie von ihrer Gemeinde weder über den Betreiber noch über Art und Zweck der Anlage Auskunft erhalten.“²¹

Aus den schlechten Erfahrungen mit der Industrie, deren mangelhafter Bereitschaft Vorsorgekonzepte zu unterstützen, gipfelt die Forderung von Bürgerinitiativen nach einem staatlichen Eingriff. Diese lautet beispielsweise in Taucha: „ Eine Gesundheitsvorsorgestrategie kann nur funktionieren, wenn gesetzgeberisch die Richtung der technischen Entwicklung gewiesen wird. Die Betreiber müssen durch schrittweise verschärfte staatliche Grenzwerte gezwungen werden, die Mobilfunk-Netze umzustellen. (...) der Wettbewerb verschiedener Mobilfunk- Konzepte (zur Immissionsminimierung, Anm. d. Verf.) darf nicht weiter blockiert werden. **Die Bürger und Kommunen müssen mitentscheiden können.**“²²

4.5. Grenzwerte und Vergleichsmaßstäbe

Im Verlauf der bisherigen Gesetzgebung hat sich das Land Liechtenstein weitgehend an den Schweizer Vorgaben orientiert. Darüber hinaus existieren eine Reihe

²⁰ Süddeutsche Zeitung vom 11.5.2005; Quelle:

<http://www.sueddeutsche.de/immobilien/geldmarkt/artikel/977/52925/2/>

²¹ Redeprotokolle der 227. Sitzung des Plenums des Deutschen Bundestages zum Thema Mobilfunkstrahlung (21.03.02), Quelle: http://www.bundestag.de/pp/227/140227p_exe;

²² S.Spaarmann, Bürgerinitiative Funksignal Taucha (b. Leipzig), Unsere Vorstellungen, zitiert nach M. Virnich, a.a.O., S.124, Schlussfolgerungen;

nationaler Regelungen, die sich in der Tendenz der letzten Jahre zunehmend auf die ICNIRP- Richtlinien reduziert haben.

Zum Vergleich eine Tabelle mit internationalen Grenzwerten:

W/m ²	mW/m ²	µW/cm ²	V/m	
10	10.000	1.000	61,400	Vg ICNIRP/WHO/EU-Ratsempfehlung; GW BRD (>2000 MHz)
9	9.000	900	58,249	Vg ICNIRP/WHO/EU-Ratsempfehlung; GW BRD (1800 MHz)
8	8.000	800	54,918	
7	7.000	700	51,371	
6	6.000	600	47,560	
5	5.000	500	43,417	Vg ICNIRP/WHO/EU-Ratsempfehlung; GW BRD (1000 MHz)
4	4.000	400	38,833	
3	3.000	300	33,630	
2	2.000	200	27,459	GW Kanada 900/1800 MHz
1	1.000	100	19,416	GW Neuseeland 900/1800 MHz
0,9	900	90	18,420	
0,8	800	80	17,367	
0,7	700	70	16,245	
0,6	600	60	15,040	
0,5	500	50	13,730	
0,4	400	40	12,280	
0,3	300	30	10,635	
0,2	200	20	8,683	
0,1	100	10	6,140	GW Schweiz (6V/m>1800 MHz); GW Italien; Vg Toronto; Vg Schottland
0,09	90	9	5,825	
0,08	80	8	5,492	
0,07	70	7	5,137	GW Schweiz (5V/m 900 + 1800 MHz) ¹
0,06	60	6	4,756	
0,05	50	5	4,342	
0,04	40	4	3,883	GW Schweiz (4V/m 900 MHz) ¹
0,03	30	3	3,363	
0,02	20	2	2,746	
0,01	10	1	1,942	
0,009	9	0,9	1,842	GW Russland 900 /1800 MHz
0,008	8	0,8	1,737	
0,007	7	0,7	1,624	
0,006	6	0,6	1,504	
0,005	5	0,5	1,373	
0,004	4	0,4	1,228	
0,003	3	0,3	1,063	
0,002	2	0,2	0,868	
0,001	1	0,1	0,614	Vg Salzburg; Qualitätsziel Italien ¹
0,0009	0,9	0,09	0,582	
0,0008	0,8	0,08	0,549	
0,0007	0,7	0,07	0,514	
0,0006	0,6	0,06	0,476	
0,0005	0,5	0,05	0,434	
0,0004	0,4	0,04	0,388	
0,0003	0,3	0,03	0,336	Vg Salzburg (0,25 mW/m ²) ²
0,0002	0,2	0,02	0,275	Vg Vorschlag Dr. Cherry Neuseeland für 2000
0,0001	0,1	0,01	0,194	Vg Dr. Cherry Neuseeland für 2010
0,00009	0,09	0,009	0,184	
0,00008	0,08	0,008	0,174	
0,00007	0,07	0,007	0,162	
0,00006	0,06	0,006	0,150	
0,00005	0,05	0,005	0,137	
0,00004	0,04	0,004	0,123	
0,00003	0,03	0,003	0,106	
0,00002	0,02	0,002	0,087	
0,00001	0,01	0,001	0,061	Vg Resolution BRD 1999 Wachbereich - Schlafbereich 10-fach tiefer

Vg=Vorschlag, GW=gesetzlicher Grenzwert, ¹ je Anlage, ² je Betreiber und Anlage



Omen- Grenzwerte in FL

5. Versorgung

5.1. Physikalisch- technisches Umfeld

5.1.1. Betrachtete Frequenzen und Systeme des Mobilfunks

Gerade weil sich die öffentliche Diskussion momentan auf Mobilfunkanlagen fokussiert, sollte man zur Objektivierung berücksichtigen dass es sich dabei um ein kleines Spektrum innerhalb des technisch genutzten elektromagnetischen Bereichs handelt.

Die folgende Grafik zeigt eine für ein Europäisches Land typische Aufteilung des technisch genutzten Frequenzbereichs.

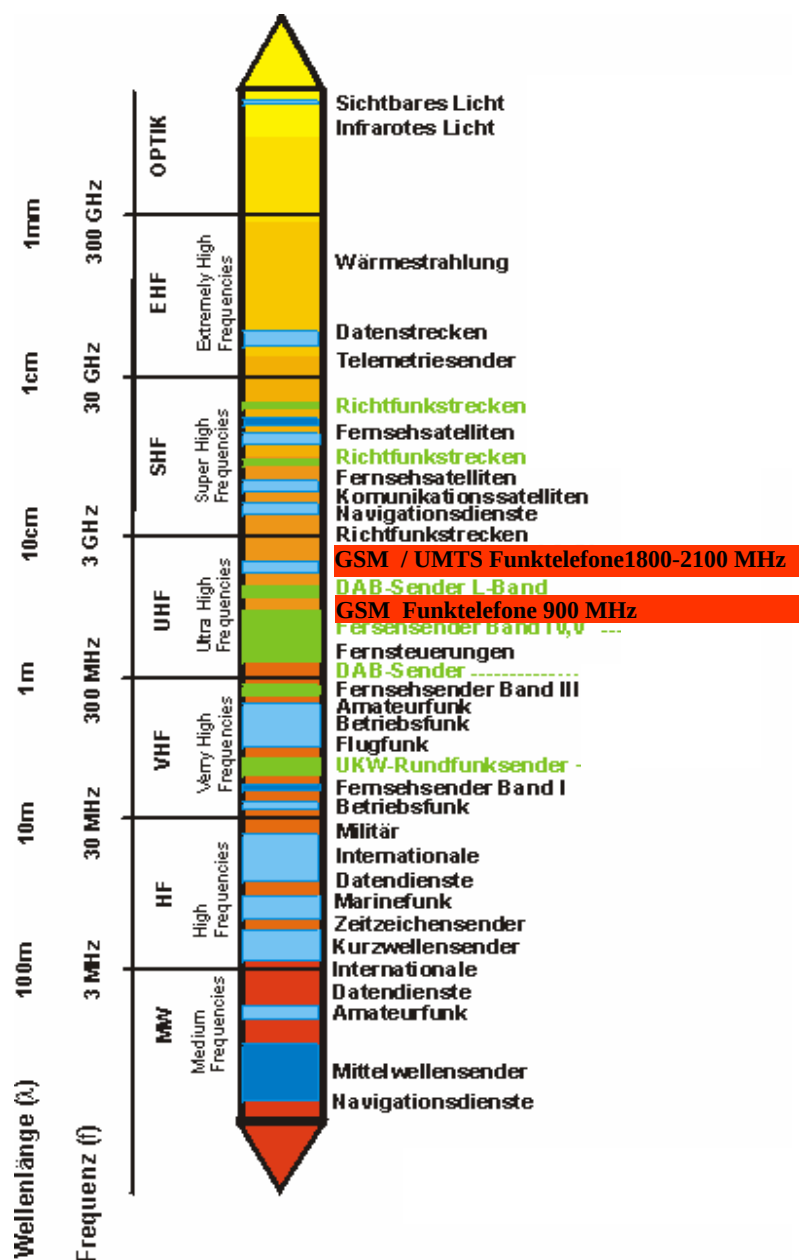


Abbildung 1-6. (Aufteilung des technisch genutzten Spektrums, Quelle: RAI, modifiziert enorm, F.Homph)

Frequenzbereich		Wellenlängenbereich		internationale Bezeichnung	deutsche Bezeichnung
von	bis	von	bis		
0 Hz	30 Hz		10.000 km	Sub ELF	Myriameterwellen, früher: Längstwellen
30 Hz	300 Hz	10.000 km	1.000 km	ELF (Extremly Low Frequency)	Myriameterwellen, früher: Längstwellen
300 Hz	3 kHz	1.000 km	100 km	VF (Voice Frequency)	Myriameterwellen, früher: Längstwellen
3 kHz	30 kHz	100 km	10 km	VLF (Very Low Frequency)	Myriameterwellen, früher: Längstwellen
30 kHz	300 kHz	10 km	1 km	LF (Low Frequency)	LW (Langwelle)
300 kHz	3 MHz	1.000 m	100 m	MF (Medium Frequency)	MW (Mittelwelle)
3 MHz	30 MHz	100 m	10 m	HF (High Frequency)	KW (Kurzwellen)
30 MHz	300 MHz	10 m	1 m	VHF (Very High Frequency)	UKW (Ultrakurzwellen)
300 MHz	3 GHz	1 m	0,1 m	UHF (Ultra High Frequency)	Dezimeterwellen
3 GHz	30 GHz	10 cm	1 cm	SHF (Super High Frequency)	Zentimeterwellen
30 GHz	300 GHz	10 mm	1 mm	EHF (Extremly High Frequency)	Millimeterwellen

Abbildung 1-7. (Bezeichnungen von Frequenzen, Quelle: Bezeichnung der Frequenzbereiche entsprechend den Internationalen "Radio Regulations", Genf, 1985)

Zur Abgrenzung des Spektrums und zur Definition von Funkfrequenzen gibt es eine Reihe von Grundlagenliteratur²³, deren Kenntnis hier vorausgesetzt werden muss, wenn nicht ein Grundlagenwerk geschaffen werden soll. Allen Systemen der mobilen Funkübertragung ist eine hohe Dynamik der Fortentwicklung eigen, die von wirtschaftlicher Nachfrage und Phantasie getrieben wird, aber auch von zunehmend nationenübergreifender Zusammenarbeit und Koordination geprägt ist. Dabei wechseln Phasen schneller Markteinführung mit Phasen langatmiger Entwicklung und weltweiter Abstimmung ab. Alle heutigen Systeme sind in diesem Marktumfeld entstanden.

Aus dem Spektrum der elektromagnetischen Frequenzen werden in dieser Studie die in Liechtenstein angetroffenen Systeme, vor allem GSM betrachtet und in Ihrer Wirkungsweise kurz vorgestellt.

Der möglichen Übertragung per Funk liegen die gleichen physikalischen und informativen Grundgesetze zugrunde. Die Möglichkeiten werden bestimmt durch

- die verfügbare Bandbreite (Summe von Kanälen, Breitband)
- Reichweite und Dämpfung von Signalen, frequenzabhängig
- Gesamttrauschen am Empfänger
- Pegelabstand Nutz- zu Störleistung C/I
- Übertragungsrate (individuell und pro Zelle)

²³ z.B. <http://umtslink.at/>, http://www.boeschatt.at/Mobil/mobilfunk_html oder <http://www.umtsworld.com/technology/technology.htm> ; auf den Seiten der Deutschen Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Postwesen, www.regtp.de, des Schweizer Bundesamtes für Kommunikation, www.bakom.ch , der ITU (International Telecommunication Union) und der ETSI unter www.3gpp.com ;

Dabei sind bei den bisherigen Entwicklungen immer die effektive Nutzung der knappen Frequenzen, die Wirtschaftlichkeit bei Errichtung und Betrieb und die höchsten technischen Standards der Antrieb, weniger die Schonung möglicher Einflüsse auf Mensch und Umwelt.

Definition Mobilfunksysteme:

„Als Mobilfunksysteme werden Funkssysteme der bidirektionalen, individuellen Sprach- & Datenübertragung betrachtet, die eine Mobilität der Teilnehmer in einem größeren Umfeld (Stadt, Land, weltweit) erlauben“.

Beispiele sind CB- Funk, Polizei- & Behördenfunk (z.B. TETRA & Tetrapol), Eisenbahnfunk (z.B. GSM-R), Betriebs- & Bündelfunk, sowie öffentlicher Mobilfunk (z.B. GSM und UMTS) und Satellitenfunk (z.B. Inmarsat und Iridium).

Eine Abgrenzung findet statt zu anderen Funksystemen, welche lediglich sehr begrenzte Reichweite/ Mobilität bieten wie die gängigen Drahtlossysteme (z.B. DECT, WLAN oder Bluetooth) bzw. zur öffentlichen Medienversorgung, die nur eine Einweg-Informationsübertragung erlauben (z.B. Radio am+fm, MW, UKW, DAB, Fernsehen, VHF+UHF, DBV-T).

In Europa finden vielfältige Mobilfunksysteme Anwendung

1. Generation (analog),
2. Generation (digital) sowie
3. Generation (weltweit / Fähigkeit zur Übertragung von Daten mit hohen Datenraten auf Basis der Internetprotokolle).

Massenverbreitung mit Teilnehmerzahlen im Millionenbereich finden hierbei in Europa vor allem GSM & UMTS. Aktuell (12/2004) betragen die Teilnehmerzahlen für GSM:

1266 Millionen / 486 Millionen (weltweit / Europa)

sowie für UMTS:

16 Millionen (weltweit).

Ende des Jahres 2005 sollen weltweit ca. 70 Millionen UMTS nutzen, davon aber mehr als die Hälfte in Fernost, sehr wenige nur in Europa. Der Anteil von UMTS am Gesamtverkehr resp. den Teilnehmerzahlen wird im Vergleich zu GSM vorerst bei ca. 1-3 % bleiben.

Die im Mobilfunk verwendeten Frequenzen reichen von einigen 10MHz für CB-Funk (27 MHz) bis in den GHz-Bereich (z.B. UMTS bei 2 GHz).

Die Mobilität der Mobilfunkteilnehmer ist abhängig von der Reichweite der Übertragung sowie der Feinmaschigkeit der versorgenden Basisstationen.

Die Übertragungsreichweite von Funksystemen ist im wesentlichen abhängig von der maximalen Sendeleistung der Mobilfunkgeräte (als dem leistungsschwächeren Partner in der Funkübertragung: Basisstation - Mobilfunkgerät) sowie dem genutzten Frequenzbereich.

Die Reichweite der Übertragung steigt in der Regel mit der dritten Wurzel der Sendeleistung²⁴ an, d.h. die Reichweite für 1 W Sendeleistung ist i.d.R. 10 mal größer als für 1 mW, $1/10^3=1/1.000$.

Der verwendete Frequenzbereich beeinflusst die Reichweite ebenfalls sehr deutlich. In den verwendeten Frequenzbereichen von einigen MHz bis zu einigen GHz gilt die Regel, dass die Absorption und Streuung der Funkübertragung mit der Frequenz stark ansteigen. Die Reichweite sinkt somit stark ab. Dieser Effekt kann in Gebieten mit einem hohen Kapazitätsbedarf durchaus erwünscht sein (Innenabdeckung, Hot Spots, Stadtgebiete), stellt aber für die Weitbereichsmobilität in ländlichen Bereichen ein Problem dar. Für die flächendeckende Versorgung in schwierigem Terrain (z.B. Berge, Wälder) sowie größeren ländlichen Gebieten sind daher entweder eine sehr große Anzahl an Basisstationen oder niedrige Frequenzbereiche (z.B. 400 MHz & niedriger) notwendig.

GSM- & UMTS- Frequenzbereiche

Für potentielle Nutzung der Systeme GSM und UMTS wurden eine Vielzahl von Frequenzbereichen in den 3GPP Spezifikationen für GSM & UMTS als Ergebnis der Standardisierungsgremien (CEPT, ETSI, ...) bestimmt (siehe nachfolgende Auflistung & Diagramm). Die Nutzung dieser Frequenzbereiche hängt einerseits von landesspezifischen Bestimmungen der Regulierungsbehörden und der Frequenzzuteilung ab, andererseits von der Nachfrage der kommerziellen Betreiber.

Auflistung der möglichen GSM/EDGE und UMTS Frequenzbereiche²⁵

Frequenzbänder nutzbar für die UMTS FDD Mode:

Band I:	1.920 – 1.980 /	2.110 – 2.170 MHz
Band II:	1.850 – 1.910 /	1.930 – 1.990 MHz
Band III:	1.710 – 1.785 /	1.805 – 1.880 MHz
Band IV:	1.710 – 1.755 /	2.110 – 2.155 MHz
Band V:	824 – 849 /	869 – 894 MHz
Band VI:	830 – 840 /	875 – 885 MHz (nur Japan)

Frequenzbänder nutzbar für die UMTS TDD Mode:

- 1.900 – 1.920 MHz
- 2.010 – 2.025 MHz
- 1.850 – 1.910 MHz (ITU Region 2)
- 1.930 – 1.990 MHz

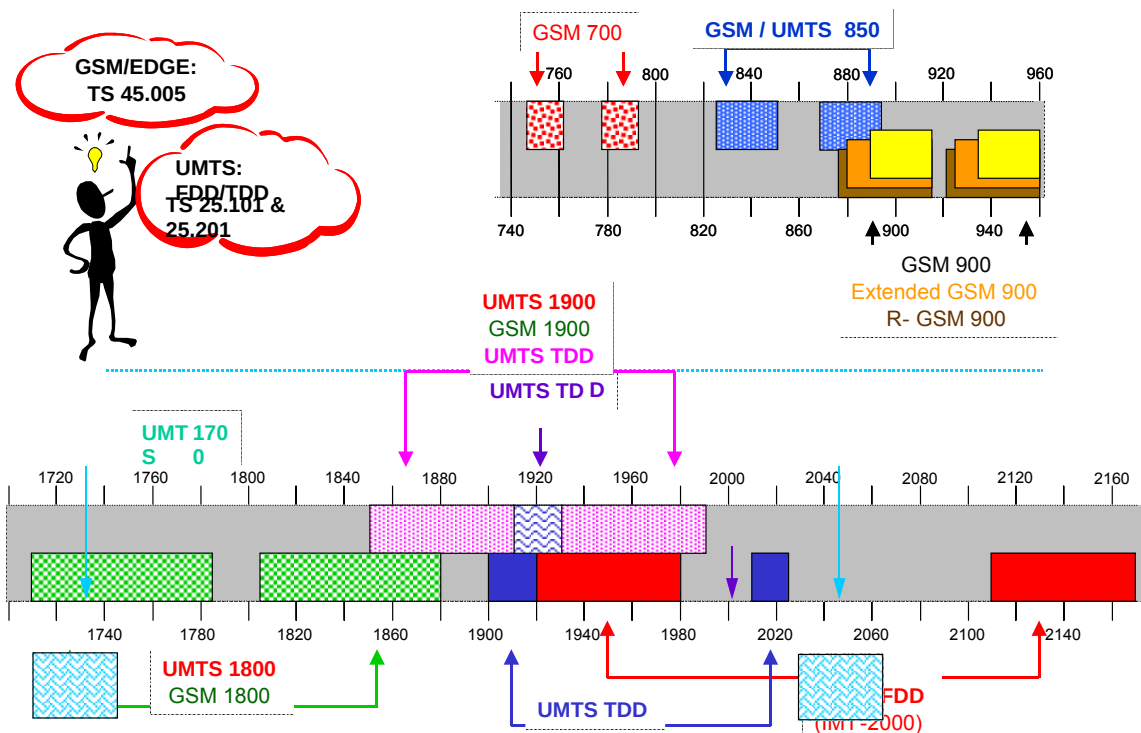
²⁴ stark umgebungsabhängig; zweite Wurzel bei geringen Reichweiten & direkter Sichtverbindung

²⁵ Quelle: 3GPP Technische Spezifikationen 25.101, 25.102 sowie 45.005, Die international gültigen Spezifikationen können z.B. unter <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/WiCr--1993.htm> oder anderen Branchenverbänden wie www.atis.org abgerufen werden;

1.910 – 1.930 MHz (ITU Region 2)

Frequenzbänder nutzbar für GSM/EDGE:

T-GSM380:	380.2 – 389.8 /	390.2 – 399.8 MHz
T-GSM410:	410.2 – 419.8 /	420.2 – 429.8 MHz
T-GSM450:	450.4 – 457.6 /	460.4 – 467.6 MHz
T-GSM480:	478.8 – 486 /	488.8 – 496 MHz
GSM750:	747 – 762 /	777 – 792 MHz
GSM850:	824 – 849 /	869 – 894 MHz
GSM900P:	890 – 915 /	935 – 960 MHz
GSM900E:	880 – 890 /	925 – 935 MHz
GSM-R:	876 – 880 /	921 – 925 MHz
T-GSM900:	870.4 – 876 /	915.4 – 921 MHz
GSM1800:	1.710 – 1.785 /	1.805 – 1.880 MHz
GSM1900:	1.850 – 1.910 /	1.930 – 1.990 MHz



not :
shown

Abbildung 1-8. (kommerziell betriebene Frequenzbänder für GSM / UMTS, Quelle: www.3gpp.com)

In Europa werden aktuell (04/2005) folgende GSM- & UMTS Frequenzbereiche ausgiebig genutzt:

System	uplink	downlink
GSM900P+		
GSM900E:	880 – 915 /	925 – 960 MHz
GSM-R:	876 – 880 /	921 – 925 MHz
GSM1800:	1.710 – 1.785 /	1.805 – 1.880 MHz
UMTS:		
Band I:	1.920 – 1.980 /	2.110 – 2.170 MHz

Kapazität der Mobilfunksysteme GSM & UMTS

Die Kapazität der Mobilfunksysteme ist durch die physikalische Beschaffenheit der Funkschnittstelle begrenzt. Generell stellt die Funkschnittstelle den zentralen Engpass der Mobilfunknetze dar. Während die Kapazitäten der Festnetzübertragung im Prinzip lediglich durch den Kostenfaktor begrenzt sind und bei heutigen Glasfaserkabeln und Übertragungssystemen mit mehreren 100 Mbyte/s bis hin zu vielen Terabyte/s keinerlei technische Herausforderung mehr darstellen, ist die Kapazität der Funkschnittstelle der zentrale Ansatzpunkt für künftige effizienz- und damit umsatzsteigernde Maßnahmen.

Die maximale Kapazität eines GSM- Funksystems lässt sich nach Shannon (Shannon Theorem: 1948) aus der verfügbaren Bandbreite sowie der Qualität der Funkschnittstelle (Signal-Rausch Abstand) bestimmen. Für höherwertig modulierte Technologien, sowie Smart Antenna Systeme können mittlerweile Bandbreiteneffizienzen jenseits des Shannon Theorems erzielt werden.

Bandbreite pro Netzbetreiber

Die üblicherweise in Europa genutzte bzw. zur Verfügung stehende Gesamtbandbreite beträgt

2 x 25 MHz für GSM 900 (2x35 MHz bei extended GSM900) sowie
2 x 75 MHz für GSM 1800.

Davon sind zum Beispiel in Österreich an Betreiber vergeben:

Mobilkom 17 MHz für GSM 900, 15 MHz für GSM 1800;
T-mobile Austria 12,8 MHz für GSM 900, 8 MHz für GSM 1800;

In Liechtenstein sind ausweislich der vorliegenden Konzessionen für einzelne Betreiber zur Nutzung ausgewiesen:

2 x 4 MHz für GSM 900 sowie
2 x 4 MHz für GSM 1800.

Eine Sonderrolle nimmt die Swisscom Mobile FL wahr, da sie gleichzeitig ein Netz in der benachbarten Schweiz betreibt und über die Grenze hinweg eine einheitliche Netzplanung, aber als Netze mit unterschiedlichen Länderkennungen betreibt. Die verfügbaren Frequenzen stellen eine große Einschränkung für die Kapazität an

einzelnen Standorten, und damit die Gesamtkapazität von Netzen je nach Zahl der Standorte dar, was folgend noch genauer beschrieben wird.

Für UMTS (FDD Band I) stehen insgesamt weitere 2 x 60 MHz zur Verfügung. Für die üblicherweise in bi- direktionalen Mobilfunksystemen genutzten sogenannte FDD Übertragung benötigt man einen Frequenzbereich für die Übertragung Mobilstation - Basisstation (uplink) sowie einen weiteren Frequenzbereich für die Gegenrichtung (downlink). Man notiert dies als 2x Bandbreite.

Die Frequenzbänder sind auf die verschiedenen Netzbetreiber aufgeteilt, teilweise haben die Regulierungsbehörden einen mehr oder weniger großen Anteil als Reserve nicht verteilt. Dies bedingt, dass je nach der Anzahl der Netzbetreiber in einem Land einem einzelnen Netzbetreiber nur ein Bruchteil dieser Bandbreite zur Verfügung steht.

Typischerweise sind dies in GSM 2 x 10 MHz – 2 x 30 MHz. Für UMTS (FDD Band I) stehen einem Netzbetreiber typischerweise 2x10 bis 2x15 MHz, in einigen Ausnahmefällen sogar 2x20 MHz zur Verfügung.

Laut Auskunft sind in Liechtenstein vorgesehen für TDD 2 x 5 MHz, FDD 2 x 14,8 MHz

5.1.2. Begriffe und Einheiten

Da einige Überlegungen ein Grundverständnis von Begriffen und Einheiten voraussetzt, seien hier einige wichtige erklärt²⁶.

Kenngrößen von elektromagnetischen Feldern werden in logarithmischen Verhältnissen verglichen und bewertet. Daher ist die Einheit für relative Verhältnisse dezibel geläufig, kurz dB, benannt nach dem amerikanischen Erfinder Graham Bell. Da sich Leistungen im Quadrat zu den Feldstärken verhalten, werden deren Verhältnisse ebenso im Quadrat berechnet.

Die beispielsweise Umrechnung erfolgt nach der folgenden Tabelle

dB-Wert	Faktor Leistung	Faktor Spannung
- 30 dB	0,001	0,0316
- 20 dB	0,01	0,1
- 17 dB	0,02	0,141
- 10 dB	0,1	$\sqrt{0,1} = 0,316$
- 7 dB	0,2	$\sqrt{0,2} = 0,447$
- 6 dB	0,25	0,5
- 3 dB	0,5	$\sqrt{0,5} = 0,707$
- 2 dB	0,633	0,8
0 dB	1	1
2 dB	1,58	1,26

²⁶ Weitere Begriffe und Größenordnungen z.B. unter http://www.elektrosmog.de/grenzwerte_d.htm#1

3 dB	2	$\sqrt{2}= 1,41$
6 dB	4	2
7 dB	5	$\sqrt{5}= 2,24$
9 dB	8	$\sqrt{8}= 2,82$
10 dB	10	$\sqrt{10}= 3,16$
12 dB	16	4
13 dB	20	$\sqrt{20}= 4,47$
17 dB	50	$\sqrt{50}= 7,07$
20 dB	100	10
30 dB	1000	31,6
50 dB	10^5	10^5

Abbildung 1-9. (Umrechnungstabelle dezibel- Wert in Faktoren)

Diese Größenordnungen haben den Vorteil, dass man

- linear multipliziert, in dem man dB Werte addiert.
- linear dividiert, in dem man dB Werte subtrahiert
- linear potenziert, in dem man dB Werte multipliziert

Des weiteren werden gängige Empfangspegel vereinfacht auf den Vergleichswert milliWatt bezogen und dann als einheitenfreier Faktor mit der Pseudoeinheit [dBm] in Relation angegeben.

dBm-Wert	Leistung P		Größenordnung	RX _{lev} nach Spec. GSM
-174 dBm	-	-	ca. Rauschleistung bei 300 K Temperatur	-
-110 dBm	-	-	untere Grenze Spezifikation	0-1
-104 dBm	0,04 pW	-	Mindestempfindlichkeit GSM Spezifikation BTS	6-7
-102 dBm	0,0633 pW	-	Mindestempfindlichkeit Spezifikation Mobilgerät $63 \times 10^{-15} \text{W}$	8-9
-100 dBm	0,1 pW	10^{-10}		10-11
-95 dBm	0,317 pW		Mindestempfangspegel für PLMN- Listung	15-16
-90 dBm	1pW = 0,001 nW	10^{-9}		20-21
-80 dBm	0,01 nW	10^{-8}		30-31
-75 dBm	0,317 nW		Testempfangspegel Nachbarzellen GSM	35-36
-70 dBm	0,1 nW	10^{-7}	Testempfangspegel Servicezelle GSM nach ETSI Spec.0508-8g0 ca. Grenzwert der Störfeldstärke 27 [dB(μV/m)] 20dBpW ERP f<1.000 MHz	40-41
-60 dBm	1nW = 0,001 μW	10^{-6}		50-51
-50 dBm	0,01 μW	10^{-5}	ca. Grenzwert der Störfeldstärke 40 [dB(μV/m)] 33dBpW ERP f>1.000 MHz	60-61
-48 dBm	0,0158 μW			63
-40 dBm	0,1 μW	10^{-4}		63
-30 dBm	1μW = 0,001 mW	10^{-3}		63
-23 dBm	0,005 mW			63
-20 dBm	0,01 mW	10^{-2}		63
-13 dBm	0,05 mW			63
-10 dBm	0,1 mW	10^{-1}		63
-3 dBm	0,5 mW			63
0 dBm	1 mW	10^0	typ. minimale Sendeleistung Endgerät DCS 1800 bei opt. Sichtverbindung	63 RS 15
5 dBm	3,17 mW		typ. minimale Sendeleistung Endgerät GSM 900 bei opt. Sichtverbindung	63 LS 19

7 dBm	5 mW			63
10 dBm	10 mW	10^1	FreqNP 226: Durchsagefunk CT2- Std: max. zul. äquivalente Strahlungsleistung: 10 mW ERP	63
17 dBm	50 mW			63
20 dBm	100 mW	10^2		63
21 dBm	125 mW		typ. Sendeleistung Endgerät	63
24 dBm	250 mW		1/8 max. als ca. mittl. Sendeleistung GSM 900 Endgerät Klasse 3	63
27 dBm	500 mW			63
30 dBm	1W = 1.000 mW	10^3	+/- 2,5 dB, max. Sendeleistung DCS 1800 Endgerät Klasse 1	63 RS 0
33 dBm	2W = 2.000 mW		+/- 2,5 dB, max. Sendeleistung GSM 900 Endgerät Klasse 3 (also th. zw. 1,12 und 3,55 W)	63 LS 5
40 dBm	10W = 10.000 mW	10^4	typ. Sendeleistung UMTS Basisstation	
43 dBm	20W = 20.000 mW		typ. Sendeleistung GSM Basisstation	
47 dBm	50W = 50.000 mW			
50 dBm	100W = 100.000 mW	10^5		
60 dBm	1kW = 1.000 W	10^6	typ. Sendeleistung UKW Rundfunksender	
90 dBm	1MW = 1.000 kW	10^9		

Abbildung 1-10. (Umrechnungstabelle Pegeldifferenz dBm in Leistung [Watt], dazu Vergleich Größenordnungen und Kategorisierung nach Empfangspegel, dazu Angabe der Handyregelung in 2dB Schritten: Leistungsstufen LS 5 bis 19 bei GSM 900, Regelungsstufen RS von 0 bis 15 bei DCS 1800)

In dieser Tabelle sind einige typische Größen von GSM- Systemen genannt, ähnliche Spezifikationen gibt es für alle Funksysteme, auch für UMTS. Ein Gefühl für die Größenordnungen gibt die maximal mögliche Pegeldifferenz zwischen einer Basisstation und dem Handyempfang:

- Sendeleistung 10 W = 40 dBm
- Empfangsleistung $63 \times 10^{-15} \text{ W}$ = -102 dBm
- max. mögl. Funkfelddämpfung = 142 dB

Unter ungünstigsten Verhältnissen in einer Großstadt kann durch Überlagerung negativer Effekte dieser Verlust bereits innerhalb eines Kilometers stattfinden, im Freiraum dagegen wäre theoretisch eine Reichweite (auch über die Laufzeitenbegrenzung von 35km) mit mehreren hundert Kilometern möglich.

Für UMTS ist eine solche LINKBUDGET- Betrachtung im Folgenden wesentlich komplexer als Beispiel gerechnet:

UMTS UL Link budget example, (c) UMTSWorld.com	
TX	
Mobile max power = 0.125W (dBm)	21
Body loss - Antenna gain (dB)	2
EIRP (dBm)	19
RX	
BTS noise density (dBm/Hz) = Thermal noise density + BTS noise figure	-168
RX noise power (dBm) = $-168 + 10 \cdot \log(3840000)$	-102.2
Interference margin (dB)	3
RX interference power (dBm) = $10 \cdot \log(10^{(-102.2+3)/10} - 10^{(-102.2/10)})$	-102.2
Noise & interference (dBm) = $10 \cdot \log(10^{(-102.2)/10} + 10^{(-102.2/10)})$	-99.2
Process gain (dB), 144k voice = $10 \cdot \log(3840/144)$	14.3
Required Eb/No for speech (dB)	5
Antenna gain (dBi)	19
Cable and connector losses (dB)	2
Fast fading margin (dB) = slow moving mobile	4
RX sensitivity (dBm)	-121.4
Total available path loss (dB)	140.4
Dimensioning	
Log normal fading margin (dB)	7
Indoor / In-vehicle loss (dB)	0
Soft handover gain (dB)	3
Cell edge target propagation loss (dB)	136.4
Okamura-Hata cell range (km) $L = 137.4 + 35.2 \cdot \log(R)$	0.94
Site hexagon coverage area (km ²)	2.3
Coverage overlap for handovers (%)	20%
Required Suburban coverage area (km ²)	200
Required Suburban coverage sites	105

Abbildung 1-11. ("Cell coverage calculation using link budget" aus dem Linkbudget entwickelt sich die Planungsgrösse der Zellgrösse bzw. in der Fläche die Anzahl der benötigten Sites, zitiert nach <http://www.umtsworld.com/technology/coverage.htm>)

Die erteilten Konzessionen enthalten je nach Nationalität Kenngrößen als Mindestanforderung für die Funktionalität der Versorgung.

Konzessionsinhaber	Mindestversorgungspegel GSM 900 DCS 1800 eGSM 900	Mindestversorgungsgrad % Fläche / % Bevölkerung langfristige Verpflichtung	max.zul. Verlust- rate	sucessful hand- overrate	max. dropped call rate
Swisscom Mobile AG	45 dB μ V/m 51 dB μ V/m	75% 97%	< 4%	> 96%	<5 %
Tele 2 AG Tango	45 dB μ V/m 51 dB μ V/m	95% 98%	< 2%	> 97%	<1,5 %
Mobilkom Liechtenstein AG	k.A.GSM 900 51 dB μ V/m 45 dB μ V/m	k.A. 97%	< 2%	k.A.	<2 %
Orange (Liechtenstein AG)	k.A.GSM 900 51 dB μ V/m 45 dB μ V/m	70% 90%	< 2%	k.A.	<2 %
Vergleich mit anderen Nationen					
O2 Deutschland (vorm. VIAG)	k.A. 42 dB μ V/m	90%	< 5%	Summe Fehler	< 10%

Abbildung 1-12. (Tabelle Konzessionsbedingungen für GSM/ DCS Netzbetreiber in Liechtenstein)

Diese Kriterien sind im internationalen Vergleich nicht unüblich und haben sich mit wirtschaftlichem Aufwand als vertretbar und im Netzbetrieb vom Kunden als akzeptiert herausgestellt.

Für die Netzplanung werden firmenintern eigene Zielwerte und Planungskriterien vorgegeben, die von Fall zu Fall vor Ort anzupassen oder zu korrigieren und optimieren sind. Ein E-Netzbetreiber in Deutschland könnte als Anhaltspunkt folgende Werte vorgeben:

dBm-Wert	Leistung P	Faktor Feldstärke / Faktor Leistungsflußdichte	Größenordnung Zielwertbezeichnung	RX _{lev} nach Spec. GSM
-110 dBm			untere Grenze Spezifikation	0-1
-104 dBm	0,04 pW		Mindestempfindlichkeit GSM Spezifikation BTS	6-7
-102 dBm	0,0633 pW 63 x 10 ⁻¹⁵ W		Mindestempfindlichkeit Spezifikation Mobilgerät	8-9
-95 dBm	0,317 pW	1 / 1	GSM Minimum	15-16
-90 dBm	1pW = 0,001 nW		UMTS Minimum	20-21
-82 dBm	0,0063 nW	4,5 / 20	GSM Strasse	28-29
-78 dBm	0,0158 nW	7,1 / 50	UMTS Strasse	32-33
-70 dBm	0,1 nW	17,8 / 316	GSM Vorstadt	40-41
-65 dBm	0,317 nW	31,6 / 1.000	UMTS Vorstadt	45-46
-60 dBm	1nW = 0,001 μ W	56,2 / 3.162	GSM Stadt	50-51
-50 dBm	0,01 μ W	100 / 10.000	UMTS Stadt	60-61
-48 dBm	0,0158 μ W		obere Grenze Spezifikation	63

Abbildung 1-13. (Zielwerttabelle eines DCS 1800- Netzbetreibers als Vergleichsmaßstab für eine Netzplanung, auch wenn die absoluten Zahlen nicht festliegen, zeigen die Verhältnisse die unterschiedlichen Anforderungen)

Diese Vorgaben sind weder in der Spezifikation vorgegeben, noch sind sie verbindlich festzulegen. Sie beruhen dann allein auf Erfahrungswerten.

Um die Qualität der Funkschnittstelle anzugeben, sind vereinfachte Pegel spezifiziert, sog. RX_{LEV} und RX_{Qual} für die mögliche Empfangsleistung. Diese Parameter wurden eingesetzt, um im Regelverhalten zwischen Basisstation und

Endgerät ständig die Verbindung zu überwachen, zu bewerten und ggf. nachzubessern.

Was ist der Empfangspegel, der Reception Level RX_{LEV} ? Jedes Telefon misst im Betrieb die Stärke des von der Basisstation empfangenen Signals und meldet diesen Messwert im Dedicated Mode an das Netz zurück. Die Messungen des Empfangspegels X erfolgt in dBm. Um diesen Pegel nun zum Netz weiterzumelden, wird er in einen 6 Bit großen Wert RX_{LEV} wie folgt umgerechnet:

von:	bis:	ergibt:
kleiner als	-110dBm	RXLEV 0
-110dBm	-109dBm	RXLEV 1
-109dBm	-108dBm	RXLEV 2
...	...	...
-49dBm	-48dBm	RXLEV 62
-48dBm	und größer	RXLEV 63

Abbildung 1-14. (Umrechnung des Empfangspegels von dBm in RX_{LEV} , Quelle: GSM Spec. 05.08)

Reception Quality RX_{QUAL}

jedes Telefon misst im Dedicated Mode die Bitfehlerrate des empfangenen Signals und bildet hieraus 2 Werte, nämlich RX_{QUAL_FULL} und RX_{QUAL_SUB} , die die Bitfehlerrate in 8 Stufen angeben, RX_{QUAL_FULL} ohne DTX, RX_{QUAL_SUB} mit DTX. RX_{QUAL} wird in die Bitfehlerrate wie folgt umgerechnet

RX_{QUAL}	0	1	2	3	4	5	6	7
max. Bitfehler	0,2%	0,4%	0,8%	1,6%	3,2%	6,4%	12,8%	mehr

Abbildung 1-15. (Bitfehler in Stufen des RX_{LEV} , Quelle: GSM Spec. 05.08)

Qualitätsbandbreite	Bitfehlerrate	Überschreitungswahrscheinlichkeit			
		Full rate Channel	Half rate Channel	DTX Mode	ECSD FPC mode
RX_{QUAL_0}	weniger als 0,1 %	90 %	90 %	65 %	70 %
RX_{QUAL_1}	0,26 % to 0,30 %	75 %	60 %	35 %	60 %
RX_{QUAL_2}	0,51 % to 0,64 %	85 %	70 %	45 %	60 %
RX_{QUAL_3}	1,0 % to 1,3 %	90 %	85 %	45 %	60 %
RX_{QUAL_4}	1,9 % to 2,7 %	90 %	85 %	60 %	60 %
RX_{QUAL_5}	3,8 % to 5,4 %	95 %	95 %	70 %	90 %
RX_{QUAL_6}	7,6 % to 11,0 %	95 %	95 %	80 %	90 %
RX_{QUAL_7}	mehr als 15,0 %	95 %	95 %	85 %	90 %

NOTE 1: For the full rate channel RX_{QUAL_FULL} is based on 104 TDMA frames.

NOTE 2: For the half rate channel RX_{QUAL_FULL} is based on 52 TDMA frames.

NOTE 3: For the DTX mode RX_{QUAL_SUB} is based on 12 TDMA frames.

NOTE 4: For the ECSD FPC mode RX_{QUAL_FAST} is based on 4 TDMA frames.

Abbildung 1-16. (Qualitätsanforderungen an die Funkübertragung in Abhängigkeit vom Verfahren, der Bitfehlerrate und Überschreitungswahrscheinlichkeit, Quelle: GSM Spec. 05.08)

Alle diese Parameter sind im Netmonitor-Modus fast jeden Endgerätes über eine Schnittstelle auf dem Laptop oder über eine spezielle Software, z.B. NetHawk von Rhode& Schwarz, München ausles- und interpretierbar.

Über die gängigen EMV- Grenzwerte hinaus gibt es technische Bestimmungen der Regulierungsbehörden , die die maximal zulässigen Störfeldstärken regeln:

Frequenz f [MHz] im Bereich	Grenzwert der Störfeldstärke (Spitzenwert) in 3 m Abstand [dB(μV/m)]
0,009 bis 1	$40 - 20 \cdot \log_{10}(f/\text{MHz})$
größer als 1 bis 30	$40 - 8,8 \cdot \log_{10}(f/\text{MHz})$
größer als 30 bis 1000	27 ¹⁾
größer als 1000 bis 3000	40 ²⁾

¹⁾ Dies entspricht der äquivalenten Strahlungsleistung von 20 dBpW.

²⁾ Dies entspricht der äquivalenten Strahlungsleistung von 33 dBpW.

Abbildung 1-17. (Grenzwerte der Störfeldstärke von TK- Anlagen und TK- Netzen gem. deutscher RegTP: Frequenzbereichszuweisungsplanverordnung von 2004)

Darüber hinaus können die Grundeinheiten elektromagnetische Felder im Hochfrequenzbereich umgerechnet werden. Dazu sind folgende Formeln gängig.

$$E = \frac{10^{(e/20)}}{1.000.000} \quad \text{bzw.} \quad e = 20 \cdot \lg(E \cdot 1.000.000)$$

wobei E = Elektr. Feldstärke in V/m
 e = Elektr. Feldstärke in dBμV/m
 $\lg$ = Logarithmus zur Basis 10

Abbildung 1-18. (Umrechnungstabelle Feldstärke)

Das Referenzmaß für 1 dBμV/m entspricht 1μV/m, eine Beispielsrechnung: 120 dBμV/m entspricht 1 V/m, da $120 \text{ dB} = 10^{12}$

$$S = \frac{E^2}{Z_0} \quad [\text{W/m}^2]$$

Abbildung 1-19. (Umrechnungstabelle Elektrische Feldstärke Leistungsflussdichte)

S = Leistungsflussdichte, E = Elektrische Feldstärke, Z_0 = Feldwellenwiderstand 377 Ohm

Beispiel: Leistungsflussdichte $0,25 \text{ mW/m}^2$ = Elektr. Feldstärke $0,307 \text{ V/m}$ oder in anderen Größeneinheiten: $25 \text{ nW/cm}^2 = 307 \text{ mV/m}$, Angaben der Leistungsflussdichte in unterschiedlichen Größeneinheiten: $1 \text{ mW/m}^2 = 100 \text{ nW/cm}^2$

5.1.3. GSM- Standard – Kapazität und Eigenheiten (gepulst)

Gute Erklärungen der Systeme und der eingesetzten Technik, samt Klärung der Fachbegriffe stellt mittlerweile die Netzbetreiberindustrie selbst zur Verfügung. Nach

anfänglicher Zurückhaltung wirbt man mittlerweile stark um Verständnis für die eingesetzte Technik und die Akzeptanz der Innovationen²⁷.

GSM Prinzip

Die verfügbare Bandbreite ist im GSM System in 200 kHz breite Bänder aufgeteilt. Diese Bänder sind hinsichtlich der Zeit nochmals in 8 Nutzungsbereiche, sogenannte Zeitschlitz, unterteilt. Ein Zeitschlitz ist die Einheit, die für den „klassischen“ GSM Dienst – eine Sprachübertragung – benötigt wird.

Von den 8 Zeitschlitz eines GSM Frequenzbandes werden i.d.R. 1-2 als BCCH für die Signalisierung (netzinterne Informationsübertragung zum Aufbau / Instandhaltung / Abbau von Funkverbindungen) benötigt. Es stehen somit i.d.R. 6-7 Zeitschlitz für Sprachübertragung pro GSM Frequenzband zur Verfügung.

Um Störungen und Verbindungsabbrüche zu vermeiden, können in einer Zelle genutzte Frequenzbänder nicht in benachbarten Zellen verwendet werden. Somit kann nur ein Bruchteil (typischerweise 1/7 bis 1/13) der GSM Frequenzbänder in einer Zelle genutzt werden. Man spricht von einer „frequency re-use“ mit einem „re-use factor“ von z.B. 1/7²⁸.

Beispiel:

Verfügt ein Netzbetreiber über 2x14 MHz und nutzt er typischerweise einen Reuse Faktor von 1/7, so stehen ihm im Prinzip in einer Funkzelle 2 MHz Bandbreite, d.h. 10 GSM Bänder zur Verfügung. Hiermit könnte er maximal gleichzeitig 60 – 70 Sprachverbindungen ermöglichen²⁹.

GSM Kapazität - Sprachübertragung

Die einem Teilnehmer in einem Zeitschlitz zur Verfügung stehende Brutto-Kapazität beträgt je Kanal theoretisch 33,85 kbit/s. Da zwischen den einzelnen Übertragungen und den Zeitschlitz zeitliche Abstände gehalten werden müssen und Steuerungsinformationen benötigt werden, reduziert sich die zur Verfügung stehende Datenrate auf 22,8 kbit/s. Aufgrund des typischerweise hohen Interferenzniveaus (niedriger Signal-Rausch Abstand) ist es notwendig die Teilnehmerinformationen redundant zu übertragen und Prüfbits hinzuzufügen. Übrig bleibt im klassischen GSM eine Netto-Kapazität / Datenübertragungsrate von 9,6 kbit/s pro Zeitschlitz. Heute kann in GSM die Redundanz an die Qualität der Funkschnittstelle angepasst werden.

²⁷ z.B. Informationszentrum Mobilfunk, www.izmf.de; forum mobil / SICTA, www.sicta.ch; forum mobilkommunikation, www.fmk.at;

²⁸ Gute Erläuterungen im Internet unter www.umtslink.at, dort zum frequency re-use bei Mobilfunk allgemein, unter Räummultiplex

²⁹ Christian Lüders, Mobilfunksysteme, Würzburg, Vogel 2001; S. 327, Anhang Tabelle B.2:

Ein Beispiel für die grosse Varianz von möglichen Konfigurationen einer GSM-Funkzelle bietet die Auflistung im theoretischen Lehrbuch an:

Anzahl Duplexträger	1	2	3	4	5
Anzahl Zeitschlitz für Signalisierung	1	2	2	3	4
Anzahl Sprachkanäle N	7	14	30	45	60
Versorgbares Verkehrsangebot A [Erl]	2,94	8,2	21,9	35,6	49,6
Versorgbare Teilnehmerzahl T = A/a	176	492	1314	2136	2976

Bei „guter“ Qualität der Funkschnittstelle (hoher Signal-Rausch Abstand) kann damit die Redundanz reduziert und 14,4 kbit/s statt 9,6 kbit/s als Übertragungsrate erzielt werden.

Beispiel Gesamtkapazität:

Der Netzbetreiber (2x14 MHz) kann unter den genannten Parametern in einer Funkzelle einen Netto-Datendurchsatz von ca. 550 – 1.000 kbit/s unterstützen ($60 \times 9.6 \text{ kbit/s} = 576$; $70 \times 14,4 \text{ kbit/s} = 1.008 \text{ kbit/s}$).

GSM/GPRS Kapazität –

GPRS führt die Mobilfunk- und Internet-Welt zusammen und ermöglicht (paketvermittelte / Nicht-Echtzeit NRT) Internetdienste in GSM.

Aber auch die Funkschnittstelle wird angepasst. In GPRS kann die Redundanz adaptiv an die Qualität der Funkschnittstelle angepasst werden und hiermit theoretisch Datenraten zwischen 9.05 und 21.4 kbit/s pro Zeitschlitz erreicht werden. In der Praxis betragen die effektiven Datenraten maximal 12,5 kbit/s. Zur Erhöhung der Datenrate können in GPRS weiterhin mehrere Zeitslitze eines GSM Bandes auf einen Teilnehmer gebündelt werden. Theoretisch möglich ist die Bündelung aller 8 Zeitslitze eines Bandes. Hiermit würde sich eine theoretisch maximale Datenrate für 1 Teilnehmer von $8 \times 21,4 \text{ kbit/s} = 171,2 \text{ kbit/s}$ ergeben. Aus vielfältigen Gründen unterstützen Mobilfunkgeräte in der Praxis maximal die Bündelung von 4 Zeitslitzen. Es ergeben sich somit maximale Übertragungsraten von ca. 50 kbit/s ($4 \times 12.5 \text{ kbit/s}$).

Beispiel Gesamtkapazität:

Der Netzbetreiber (2x14 MHz) kann unter den genannten Parametern in einer Funkzelle einen Netto-Datendurchsatz von max. 850 kbit/s unterstützen ($60 - 70 \times 12.5 \text{ kbit/s} = 750 - 875 \text{ kbit/s}$).

GSM/GPRS/EDGE Kapazität

EDGE dient in GSM als eine Art „Turbo“ für GPRS. Bei guter Qualität der Funkschnittstelle kann ein hochwertigeres Modulationsverfahren (8PSK) 3 statt 1 bit gleichzeitig über die Funkschnittstelle übertragen und somit die Übertragungsrate von GPRS verdreifachen. Eine entsprechend gute Qualität der Funkschnittstelle setzt einen geringen Abstand zwischen Basisstation und Mobilfunkgerät und/oder direkte Sichtverbindung voraus. Die Datenrate pro Zeitschlitz kann theoretisch bis zu 59,2 kbit/s erreichen, somit wären theoretisch maximal $8 \times 59,2 = 473,6 \text{ kbit/s}$ möglich. Hiermit erreicht EDGE die für Systeme der 3. Mobilfunkgeneration 3G in einer Weitbereicherschließung notwendigen 384 kbit/s und wurde somit branchenintern als 3G System anerkannt. In der Praxis gelten allerdings die schon für GPRS beschriebenen Limitierungen. So können bei Bündelung von 4 Zeitslitzen und unter guten Funk-Bedingungen (hoher Signal-Rausch Abstand) ca. $4 \times 40 \text{ kbit/s} = 160 \text{ kbit/s}$ erzielt werden. Hiermit ist die Realisierung von Nichtezeit Datendienst (z.B. Internet Surfen, E-Mail Download, File Transfer) von 128 bzw. 144 kbit/s

möglich. Auch Dienste wie Streaming Audio sowie Streaming Video werden dank Zwischenspeichern mit geringer Zeitversetzung bei hinreichender Qualität möglich.

Beispiel Gesamtkapazität:

Der Netzbetreiber (2x14 MHz) kann unter den genannten Parametern in einer Funkzelle einen Netto-Datendurchsatz von max. 2,8 Mbit/s (sehr optimistisch) unterstützen ($60 - 70 \times 40 \text{ kbit/s} = 2,4 - 2,8 \text{ Mbit/s}$). In der Regel wird der Datendurchsatz deutlich darunter bleiben, in typischen GSM Zellen bei ca. 1 – 2 Mbit/s.

5.1.4. UMTS- Standard – Kapazität und Eigenheiten,

UMTS Kapazität

Die verfügbare Bandbreite ist im UMTS System in 5 MHz (= 25 x GSM) breite Bänder aufgeteilt. Alle Teilnehmer und alle Funkzellen (re-use Faktor = 1) teilen sich bei dem genutzten CDMA Verfahren gleichzeitig das zur Verfügung stehende Frequenzband. Weitere Frequenzbänder sind nur zur Steigerung der Kapazität notwendig.

Die Kapazität von UMTS Zellen lässt sich aufgrund des vergleichsweise komplizierten CDMA Übertragungsverfahren nicht so einfach berechnen wie bei GSM. In die Formeln fließen verschiedene Faktoren ein. Sehr bedeutend sind hierbei die Funknetzplanung, da eine zu große Überlappung der Zellen eines Anbieters (Inter- Cell Interferenz) die Kapazität deutlich reduziert. Weiterhin wichtig ist eine präzise Leistungsregelung. Je geringer die Übertragungsleistung des einzelnen Teilnehmers, desto höher die Kapazität des Systems. Die extrem präzise Leistungsregelung von UMTS ermöglicht deutlich niedrigere Übertragungsleistungen als bei GSM und im Bereich kleiner Zellen Sendeleistungen der Mobilstationen von wenigen Nano- oder Mikrowatt.

In den zur Flächendeckung notwendigen Macro-Zellen beträgt der die Kapazität von UMTS Zellen mit 2 x 5 MHz maximal 50 – 60 Sprachtelefonate.

UMTS unterstützt aktuell in Macro-Zellen Echtzeitdatendienste i.d.R. bis zu 64 kbit/s (Bildtelefonie) und zeitlich verzögerte Nichtechtzeitdatendienste bis zu 384 kbit/s. Der Datendurchsatz beträgt (Dienst-spezifisch variierend) typischerweise 700 – 900 kbit/s.

Beispiel Gesamtkapazität:

Ein Netzbetreiber (2x15 MHz) kann somit typischerweise in einem Sektor (äquivalent GSM Funkzelle) einen Netto-Datendurchsatz aller Teilnehmer von 2,1 – 2,7 Mbit/s unterstützen.

Datendienste mit höheren Datenraten sowie höhere Kapazitäten werden in Zukunft in kleinen UMTS-Zellen, den sogenannten Micro- und Pico-Zellen ermöglicht. Geplant sind Datendienste mit 512, 768, 1024 und 2048 kbit/s verfügbarer Datenrate einzelner Teilnehmer.

UMTS Micro-Zellen dienen der Versorgung von Hot Spots, z.B. Fußgängerzonen, Flughafen-Terminals, Bahnhöfen, Plätzen. Pico-Zellen dienen der Innenraum-Versorgung (Büros, Konferenzräume, Hotels,...). Pro Etage eines Gebäudes ist eine Pico-Zelle notwendig.

UMTS Micro- und Pico-Zellen besitzen eine deutlich höhere Kapazität als Macro-Zellen. Typischerweise können hier ca. 80 – 90 Sprachtelefonate bzw. Datendurchsätze von ca. 1,4 – 2 Mbit/s unterstützt werden.

UMTS/HSDPA Kapazität

HSDPA soll ab Ende 2005 in UMTS als eine Art Turbo Einsatz finden, ähnlich dem Einsatz von EDGE für GSM/GPRS. Auch hier soll ein adaptives Modulationsverfahren bei guter Qualität der Funkschnittstelle vom klassischen UMTS Modulationsverfahren (QPSK) auf ein hochwertigeres Modulationsverfahren (16QAM) umschalten. Es werden dann 4 bit (HSDPA) statt 2 bit (UMTS) gleichzeitig über die Funkschnittstelle übertragen und somit die Übertragungsrate von UMTS verdoppelt. Es wird erwartet, dass HSDPA die Kapazität von „normalen“ UMTS Macro-Zellen um 40-60% steigert. Dies entspricht Datendurchsätzen von optimistisch ca. 1 – 1,5 Mbit/s. Noch deutlich günstiger soll sich HSDPA auf die Kapazität von Micro- und Pico- Zellen auswirken. Kapazitätssteigerungen von 100% bis 200%, d.h. Datendurchsätze von ca. 3 - 4 Mbit/s werden erwartet.

5.1.5. Richtfunk, Behördenfunk, Bündelfunk

Für **Richtfunk** gibt es aufgrund der starken Bündelung und der geringen Leistungen kaum Bedarf zur Reglementierung, zudem besteht zwischen Sender und Empfänger immer freie Sicht, was durch LOS- Berichte und -tests (*line of sight*) untersucht wird. Daher ist die Sendeleistung frei von Hindernissen, es gibt kaum Immissionen auf Objekte zwischen Sendern und Empfänger, also kaum ungewollte Empfänger. Charakteristika des Richtfunks: Bündelung, geringe Leistungen, z.B. 10 mW aufgrund der hohen Bündelung, fast parallel fokussierte Strahlung.

Richtfunksender unterliegen definitionsgemäß als Richtfunksender nicht der Liechtensteiner NISV!

Behördenfunk, z.B. Polycom, besitzt Sender nur in Bereitschaft, d.h. die Stationen senden nur bei Bedarf.

Folgende Systeme und Begriffe sind gebräuchlich

Polycom	Schweizerisches Sicherheitsfunknetz, welches auch das Staatsgebiet Liechtenstein abdeckt wird (im Aufbau), basierend auf der Tetrapol-Technologie
TETRA	Digitales, zellulares Bündelfunksystem für private und öffentliche Betriebsfunktanwendungen, entwickelt durch das <i>European Telecommunications Standards Institute (ETSI)</i>

Tetrapol Digitales, zellulares Bündelfunksystem für private und öffentliche Betriebsfunkanwendungen, entwickelt von *Matra Communications*, Frankreich

Andere Systeme, wie Bündelfunk sind kaum mehr verbreitet.

5.1.6. Bluetooth, W-LAN, Wi-max, WLL, NFC u.s.w.

Im 3,4 GHz- und 26 GHz-Band operieren sog. drahtlose Teilnehmeranschlüsse (WLL= Wireless Local Loop) und auch Wi-Max. WLL ist reiner Richtfunk und beeinflusst keine andere Funktechnologie. Durch seine Ausrichtung und die starke Parallelbündelung der Sendeleistung sind die Feldintensitäten außerhalb der Reichweite durch Anwohner.

„**WLANS** sind breitbandige Funkanwendungen zur Datenübertragung, die typischerweise lokal zwischen mobilen bzw. nomadischen Funkstellen stattfindet. Eine Funkstelle übernimmt dabei oft die Funktion einer Zentralstation, wobei während der Datenübertragung die Funkstellen üblicherweise stationär betrieben werden. Dies ermöglicht z. B. eine drahtlose Verbindung zwischen Geräten der Informationstechnik, zwischen Geräten der Unterhaltungselektronik oder den Einsatz im Rahmen von drahtlosen Zugangssystemen“³⁰.

Es gelten Funknetze nach dem WLAN-Standard vor allem als Ergänzung zum etablierten Kabelnetz, da sich ohne Installationsaufwand in Gebäuden und öffentlichen Räumen Netze errichten lassen.

Doch damit diese Luftbrücken als echte Alternative zum Ethernet-Kabel akzeptiert werden, braucht man höheren Durchsatz als die aktuellen 20 bis 25 MBit/s auf Anwendungsebene, da Ethernet auf Kupferkabeln längst die Gigabit- Schwelle erreicht hat. Daran wird gearbeitet.

Im W-LAN Netz lässt sich auf engem Raum ein Effekt gut zeigen, der den Zusammenhang zwischen Pegelstärke resp. Entfernung von Sender zu Empfänger und messbarer Datenübertragungsrate zeigt. Mit zunehmender Entfernung, sinkenden Pegeln und steigenden Reflektionen sinkt die Datenrate erheblich.

Durchsatz in KByte/s (*1) in Büroumgebung			
Distanz	1m	20m	40m
Belkin	(4838)	(2981)	(1494)
Planex 2,4 GHz	(4309)	(3047)	(1588)
Planex 5 GHz	(4838)	(4445)	(2304)
11g (*2)	(3047)	(2012)	(254)
*1 Mittelwert aus fünf netio -Läufen über alle Blockgrößen und beide Übertragungsrichtungen *2 Belkin-Router F5D7230 und Netgear WG511 (erste Version)			

³⁰ Definition der RegTP, Alphabetische Beschreibung der Frequenznutzungen;

Abbildung 1-20. (Messergebnisse W-LAN Kapazität in Abhängigkeit von Entfernung, Büroumgebung; Quelle: Ernst Ahlers: Mehr Speed für WLANs - MIMO-WLAN-Geräte beschleunigen den Funkdurchsatz, Heise 13.05.2005, download unter <http://www.heise.de/mobil/artikel/59219/0;>)

Auf Grund der hohen Reichweite müssen bei der Betrachtung von Mobilfunkimmissionen auch neue Techniken wie z.B. **WIMAX** berücksichtigt werden. Derzeit sind drei Frequenzbereiche für WiMAX vorgesehen: 3 400 bis 3 600 MHz, 5 725 bis 5 850 MHz und 2 500 bis 2 690 MHz. Der erste Frequenzbereich wird in über 100 Ländern genutzt werden können, unterliegt dort aber jeweils einer Regulierung bzw. Frequenzzuteilung. Der zweite Bereich ist in den USA lizenzfrei, in vielen anderen ebenfalls lizenzpflichtig. Der dritte Bereich ist zumindest in Europa auch für andere Technologien vorgesehen.

Aufgrund der Leistungsfähigkeit und der günstigen Errichtung dürfte hier ein echter Konkurrenzmarkt erwachsen, der die Wirtschaftlichkeit der Datendienste per UMTS in Frage stellen könnte. Die Technik soll mit einer Rate bis zu 70 MBit /sec Daten übertragen können und auch mit einer Reichweite von bis 50 km. Dabei seien die Kosten für die Errichtung einer Basisstation mit ca. 10.000,- US Dollar bis zu 20 mal niedriger als bei UMTS, das Ergebnis aber bis zu 1.000 mal schneller als z.B. GPRS³¹.

“Near Field Communication (NFC) ist eine drahtlose Kommunikationstechnik - auch als Nahfunktechnik bekannt – und erlaubt die Datenübertragung von kleinen Datenmengen über kurze Strecken. Die NFC-Technik basiert auf der parallel zu ihr entwickelten RFID-Technologie (Radio Frequency Identification), beide unterscheiden sich aber in einigen grundlegenden Eigenschaften voneinander: Während RFID-Chips, die zumeist in Etiketten von Büchern oder Lebensmitteln Verwendung finden, eine Reichweite von fünf bis zehn Metern aufweisen, kann NFC nur Daten zwischen Teilnehmern austauschen, die maximal zehn Zentimeter voneinander entfernt sind. Das hat zum einen den Vorteil, dass man mit sehr kleinen, billigen Funksendern arbeiten kann, die nur wenig Energie benötigen. Zum anderen macht das schwache Signal diese Technik auch für sicherheitskritische Anwendungen nutzbar. Der Hauptunterschied zu RFID ist aber, dass NFC den schnellen Verbindungsaufbau von Peer-to-Peer-Netzwerken ermöglicht. Wie bei der Peer-to-Peer-Kommunikation von Bluetooth finden sich NFC-Geräte automatisch und bauen eine Verbindung miteinander auf. Im Gegensatz zu NFC benötigt der Nahbereichsfunk Bluetooth eine kurze Zeitspanne, um sich mit anderen Geräten verbinden zu können und benötigt zum "Pairing" zumeist den Eingriff eines Nutzers, der einen entsprechenden PIN-Code hierfür eingeben muss. RFID-Netzwerke basieren hingegen auf so genannten "Master/Slave"-Rollen, bei denen günstige passive Chips von stromversorgten Lesegeräten abgefragt werden. Geräte mit NFC-Support können dagegen sowohl im aktiven als auch im passiven Modus arbeiten. Sind sie auf "passiv" eingestellt, können sie Identifikationsdaten sogar dann senden, wenn ihr Träger-Gerät ausgeschaltet ist oder nicht über eine eigene Stromzufuhr verfügt bzw. diese ausgefallen ist”.³² Die NFC-Technologie arbeitet mit einer Frequenz von **13,56 MHz** und erreicht eine **Übertragungsrate** von 106 bis 424

³¹ Thomas H. Wendel, Berliner Zeitung 17.01.2004; Interview mit G. Lesch, Fa. INTEL;

³² Quelle: http://www.aremobil.de/specials/nfc_special/teil_I.php

kbit/s, eine Erweiterung auf 1Mbit/s ist in Vorbereitung. Die Übertragung erfolgt bei einer Frequenz von 13,56 MHz induktiv, also über ein hochfrequentes Magnetfeld. An einer Transaktion können immer nur zwei Teilnehmer beteiligt sein, ein Initiator, der als Sender von Information fungiert und ein Target, das die Information empfängt.

Dies sind nur wenige Beispiele für kommende Technologien, was ist die **Konsequenz?**

Zusätzlich zu den kommerziell von internationalen Konzernen betriebenen Netzen der zweiten und dritten Generation nimmt die Zahl und der Umfang von funktechnischen Nutzungen zu, die über eine Luftschnittstelle Geräte und Netze im Haushalt und Büro miteinander verbinden. Es installieren und betreiben Gebäudeeigner und Dienstleister meist im halböffentlichen Raum, wie Flughäfen, Bahnhöfen und Einkaufszentren, aber auch in der Gastronomie eigene Netze mit dem Hintergrund der Attraktivitätssteigerung von Orten und Diensten. Zudem gibt es vermehrt Anwendungen innerhalb von Gebäuden, z.B. die funktechnische Ablesung des Heizverbrauchs an verteilten Messstellen oder im Gesundheitswesen die Funkübertragung von Herz-Kreislaufdaten von Risikopatienten. Da diese Entwicklungen meist im Rahmen von Geräten mit allgemeiner Bauartzulassung stattfinden, sind hier schwerlich Regelungen zur Standortwahl und den Funkemissionen anzuwenden.

Diese "Vandalisierung" frei zugänglicher Frequenzen und deren Nutzung ist von **hoher Bedeutung auch für diese Studie:**

- der Preisdruck auf die kommerzielle betriebenen Dienste wie GSM und UMTS wird zunehmen, daher auch der Druck Richtung „faire“, diskriminierungsfreie Bedingungen
- die zukünftige Marktbehauptung wird neben dem Preis auch stark von der Qualität und Bequemlichkeit jeglichen Angebots abhängen
- die starke Nutzung aller Frequenzen benötigt eine strikte Frequenzzuweisung mit hoher internationaler Abstimmung, die Initiativen dazu werden in Zukunft vermutlich von nur noch wenigen, sehr großen Ländern und Anbietern getroffen
- die Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit der Geräte untereinander wird wachsen
- auch die heute sehr hohen Grenzwerte für die zulässige Belastungen des menschlichen Organismus sind aufgrund der Fülle der möglichen Sender nicht mehr außerhalb jeglicher Vorstellung und werden auch überschritten³³.

Dies soll durch einen Vergleich von Messwerten anhand von verschiedenen Quellen im Haushalt belegt werden:

³³ Strahlenschutzkommission: Empfehlungen emv 2003; a.a.O.;

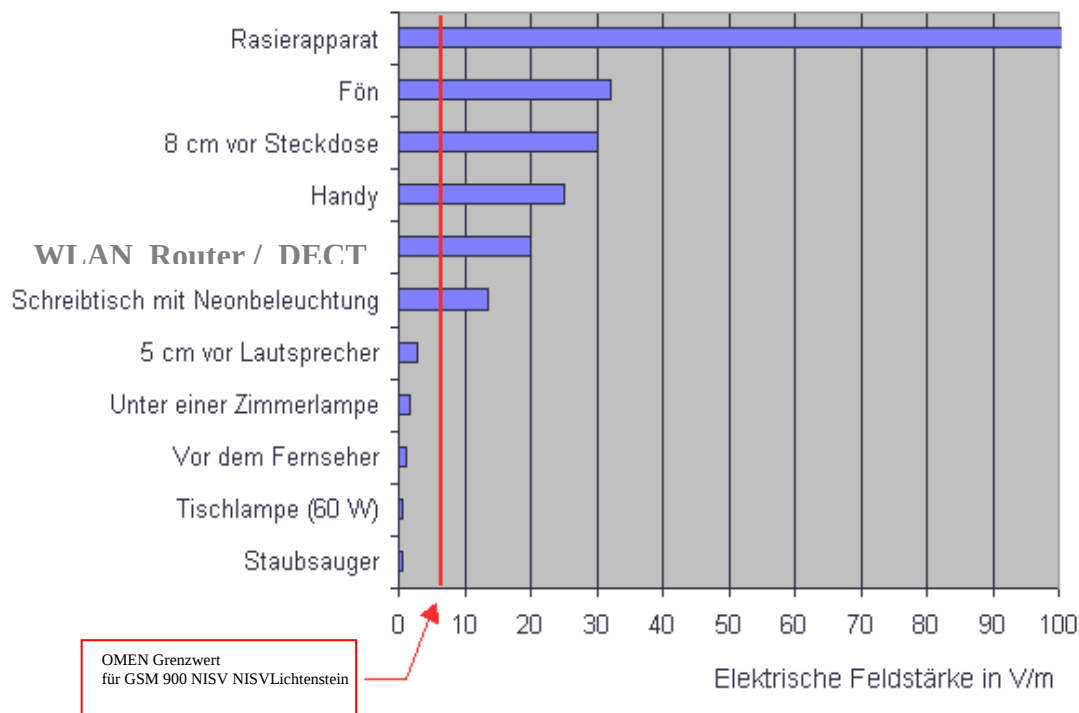


Abbildung 1-21. (Quelle: N.N., Vergleich von Emmissionsquellen im Haushalt)

Ein solcher Vergleich ist jedoch insofern problematisch, da sich die verglichenen Emittenten in unterschiedlichen Frequenzbereichen bewegen, die im Hinblick auf ihre biologische Wirkung differenziert betrachtet werden müssen. Dieses Szenario im Zusammenhang mit der nicht abschließend beurteilten Lage gesundheitlicher Beeinträchtigungen erfordert einen kritischen Blick auf die heutigen Rahmenbedingungen.

Wesentlich für die Möglichkeiten der Reduzierung von Feldern einerseits und den Anforderungen an die erfolgreiche Nutzung von Frequenzen andererseits sind die technischen Notwendigkeiten für die vorgesehenen Dienste für die Nutzer. Welche Kriterien sind hierbei anzulegen?

5.1.7. Versorgungsanspruch und zukünftige Datenrate

In einem funktionierenden Funknetz stellen sich unweigerlich wechselseitige Abhängigkeiten aus den Vorgaben und Anforderungen an die geplanten Dienste ein. Meist ist die Anforderung der nationalen Lizenzgeber an die Versorgung nur ein abstraktes Ziel, auch die Liechtensteiner Grundsatzerklärung verlangt staatlicherseits eine „**Basisfunktionalität**“ mit „**modernen Dienstleistungen und Produkten**“, ohne diese weiter zu spezifizieren. Als Orientierung sollen „**adäquate und gleichwertige Dienstleistungen wie in den Nachbarstaaten**“³⁴ angeboten werden. Eine der wesentlichen Vorgaben dürfte die Frage nach einem Mindestversorgungspegel sein. Die Angabe des Mindestempfangspegels eines Handys nach GSM-Spezifikation ist zwar der restriktive Faktor im Verhältnis down- und uplink, aber diese Angabe als

³⁴ Regierung des Fürstentums Liechtenstein, Grundsatzerklärung Telekommunikation 2004

Pegel gibt **keinen echten Anhaltspunkt für die Planung einer flächendeckenden Infrastruktur**.

Als in Deutschland einziger Hinweis enthält die zuletzt erteilte E2- Lizenz, die 1998 an die damalige VIAG Interkom vergeben wurde, eine Regelung, die klärt, dass ein Gebiet als versorgt gilt, wenn ein Mindestpegel von 42 dB $\mu\text{V/m}$ eingehalten werde. Dabei wird von einer 90%- Versorgungswahrscheinlichkeit ausgegangen.³⁵

5.1.8. Traffic analyse soft/hard capacity

Einen sehr großen Einfluss auf die Ausgangsleistungen der Mobilfunksender haben die Annahmen unter denen dabei eine Versorgung im Gebäude möglich sein wird. Mitentscheidend ist hier die Annahme, welche Dämpfung die Gebäudehülle haben wird.

Unterschiedliche Werte sind hierbei in der Literatur zu finden:

- | | |
|--|---------|
| - Gebäudehülle: | 8-12 dB |
| - Ungünstige Dämpfung z.B. metallverspiegelte Fassade: | 20 dB |
| - Netzbetreiberplanung (D) | 30 dB |

Diese Annahmen fließen in die folgenden Planziele in eigener Form mit ein.

Es soll nicht verschwiegen werden, dass die Versorgung innerhalb von Gebäuden keine statische Annahme sein muss. Neben dem Versorgungsziel einer Mindestversorgung im Freien spielt der Anspruch einer **inhouse-** oder sogar **deep inhouse** Versorgung eine wesentliche Rolle für die Operatoren. Man geht davon aus, dass ein **Grossteil des Mobilfunkumsatzes sich bereits heute innerhalb von Gebäuden** abspielt, manche behaupten sogar bis zu 70%.³⁶

5.1.9. Physikalische Kenngrößen als Qualitätsmerkmale

In der als Abbildung 1-11 aufgeführten Tabelle sind die Lizenzbedingungen für die Liechtensteiner Netzbetreiber genannt, die als Konzessionsauflage bei Vergabe vertraglich gesichert sind. Ein Vergleich zeigt, dass auch in den Lizenzbedingungen in Deutschland als Mindestansprüche an die Versorgung eine Verlustrate von 5% von Belegungsversuchen des Endgerätes angesetzt sind. Da weitere Angaben der unterschiedlichen Sichtweise und individueller Netzplanung unterliegen sollten, und so als Differenzierungsmerkmal im Markt entschieden werden sollten, sind andere Parameter nicht genannt.

Dagegen enthält die Literatur und die Ausbildung der Netzplanung durchaus bekannte Kenngrößen für die Qualität einer Versorgung. Solche Qualitätsparameter sind die Rate (C/I oder C/N), die Kapazität von Flächenversorgungen in der Einheit [Erlangen], eine mögliche Datenrate, eine maximal zulässige Fehler- Bitrate, etc.

Da technische Reserven innerhalb der vorhandenen Systeme systemimmanent sind, durch Maßnahmen an vorhandenen Standorten teils sogar ohne Leistungserhöhung

³⁵ E2- Lizenz RegTP Veröffentlichung

³⁶ Guido Huwiler, in Tagungsband zur Veranstaltung „Gesundheit und Mobilfunk“, ETH Zentrum Zuerich, 2.9.2005, S.32

möglich sind und daher nicht nur von einer Standortausweisung abhängig sind, soll vorbeugend hier der Kritik begegnet werden, „man kenne und plane nicht alle Parameter“³⁷.

5.1.10. Ausbreitungsmodelle (Freiraum)

Zur Errechnung bzw. Prädiktion von Feldstärken oder Flussdichten an einem beliebigen Ort ausgehend von bekannten Emittenten müssen die physikalischen Gegebenheiten von sich ausbreitenden elektromagnetischen Wellen berücksichtigt werden.

Grundsätzlich sind folgende physikalische Effekte von Bedeutung:

- Beugung
- Reflektion
- Streuung
- Absorption
- Doppler Effekt

Diese beeinflussen nicht nur die Ausbreitung und Reichweite einer elektromagnetischen Welle, sondern sind auch für Effekte wie

- Frequenzverschiebung bzw. Verbreiterung
- Signalabschwächung / Path Loss
- Fading
- Interferenzen, etc.

verantwortlich.

Die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen wird durch Maxwell- Gleichungen beschrieben. Eine exakte Lösung der Maxwell- Gleichungen für eine reale Umgebung mit Hindernissen ist nicht möglich aber auch nicht nötig. Eine näherungsweise Lösung mittels eines Ausbreitungsmodells reicht für die Errechnung eines Feldstärkewertes an einem bestimmten Ort aus.

Hierfür unterscheidet man empirische, semiempirische und deterministische Modelle

- Empirische Modelle: z.B. ITU, Okumura Hata, COST Hata

Empirische Methoden basieren auf Messungen und Messkurven bzw. fassen die Messergebnisse in Formeln. Diese Modelle sind relativ einfach jedoch ungenau sobald die Umgebung (z.B. Topographie, Bebauungsdichte) sich von der der Messung zugrundeliegenden unterscheidet.

- Semiempirische Modelle: z.B. COST Hata & knife edge, COST Walfish Ikegami

Semiempirische Methoden sind Kombinationen aus empirischen Methoden und deterministischen Ansätzen für die spezifisch zu untersuchende Situation

³⁷ T-mobile, Veranstaltung des Verbandes Bayerischer Wirtschaft (vbw) im Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, 13.10.2003, vorliegendes Referat;

- **Deterministische Modelle: z. B. Finite Difference, RAY Tracing, Ray Launching**

Deterministische Modelle basieren auf vereinfachenden Annahmen des Gesamtproblems. Das kann mittels einer mathematischen Approximation des Gesamtproblems oder mittels eines geeigneten Modells für eine spezielle Situation gelöst werden.

Deterministische Methoden können einen hohen Komplexitätsgrad annehmen. Mit der Ray Tracing und Ray Launching Methode werden mittels geometrischer Optik alle möglichen Ausbreitungswege vom Sender zum Empfänger aufsummiert. Dabei werden die Abschwächung sowie alle Reflektionen und Streuungen durch Hindernisse im Ausbreitungspfad berücksichtigt. Die maximale Anzahl an Reflexionen und Streuungen ist einstellbar. Damit erreicht man eine hohe Genauigkeit der Prädiktion.

Für diese Methode wird eine sehr genaue digitale Karte inklusive der Gebäude benötigt. Der Algorithmus stellt auf Grund seiner Komplexität sehr hohe Anforderungen an die verfügbare Rechenleistung.

In der Praxis ist als weitere Unterscheidung das Ray Launching- Verfahren dem Ray Tracing- Verfahren vorzuziehen.

Modell	Geeignet für ländliche Gebiete	Geeignet für städtische Gebiete	Geeignet für In-Haus	Genauigkeit
Log distance path loss	+	+	+	0
COST Hata	+	+	-	-
COST Hata& knife edge	+	0	-	0
COST Walfisch Ikegami	-	+	-	0
Ray launching, Ray tracing	+	+	+	+

Abbildung 1-22. (Eignung von Prädiktionsverfahren, + geeignet, 0 bedingt, - ungeeignet)

Im Rahmen dieser Studie wird ein Prädiktionstool verwendet, das nach dem Prinzip des Ray Launching arbeitet. Genauere Erklärungen finden sich im Teil 2 dieser Studie im Kapitel Prädiktionstool.

Für das vorliegende Gutachten werden die Prädiktionstool- Parameter auf der Grundlage von Messungen bestimmt. Dazu werden mehrere ungestörte BCCH-Kanäle (diese senden stets mit voller Leistung) sowohl für das GSM 900 als auch GSM 1800 Band identifiziert und diese an mehreren, gleichmäßig über das betrachtete Gebiet verteilte Punkten mit einem Spektrumsanalysator untersucht. Es werden jeweils der Mittelwert des Betrages der Feldstärke bestimmt. Für jeden Messpunkt wird dann eine Prädiktion mit unterschiedlichen Parametereinstellungen durchgeführt. Die Parameter wurden solange variiert, bis im Mittel idealerweise keine

Abweichung zwischen vorhergesagten und gemessenen Feldstärken mehr zu erkennen ist. In der Praxis begnügt man sich mit einer mittleren Abweichung von 1-3 dB.

Weitere Informationen zum verwendeten Prädiktionsmodell sowie dessen Parameter sind im Teil 2 der Studie zu finden.

Die Einflüsse von Niederschlägen oder Luftfeuchtigkeit sind im Bereich der Mobilfunkfrequenzen messbar, deren Dämpfung liegt bei starkem Regen z.B. bei einigen dB³⁸. Eine große Rolle spielen auch reflektierende oder absorbierende Wasser-, Eis- oder Schneeflächen, ebenso Bebauung mit Blechdächern und – Fassaden.

5.2. Wirtschaftlicher Rahmen

5.2.1. Lizenzvergabe, Auflagen

Liechtenstein an sich ist wegen seiner Größe und geringen Bevölkerungszahl ein eher uninteressantes und aufwändig zu erschließendes Versorgungsgebiet, andererseits aber ist das Preisniveau relativ hoch, die Zahl der ausländischen Roaminggäste und ihr Umsatz veritabel und auch insgesamt die Klientel eher wohlhabend.

Über die Lizenzauflagen und Konzessionsbedingungen wurde im vorangegangenen Kapitel (siehe auch Abbildung 1-11) bereits vorgetragen. Viel interessanter für den Erfolg von Funknetzen als die Lizenzmindestbedingungen dürften die im Wettbewerb stehenden Qualitätsaspekte stehen, die sich im Verhältnis zum Kunden etablieren und als Netz- und Qualitätsmerkmal wirken könnten.

5.2.2. Planungssicherheit

Wie bei der Herleitung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen erkennbar wurde, stellt auch in der Telekommunikation ein erhebliches Qualitätsmerkmal für die Unternehmen und ihre Investitionen die langfristige Planungs- und Rechtssicherheit dar.

In diesem Sinne erging auch die Grundsatzerklärung der Regierung am 24.8.2004 zur nationalen Telekommunikationspolitik im Bereich der Mobilfunk- Telephonie an den Landtag. Mit dieser „Grundsatzerklärung werden folgende Zielsetzungen verfolgt:

- Die Grundsatzerklärung soll den Marktteilnehmern, Marktbetreibern und den Investoren die Richtungen aufzeigen, welche die Regierung im Mobilfunk-Bereich zukünftig verfolgen wird.

- Die Grundsatzerklärung soll sowohl für die Bürger und Bürgerinnen als auch für die liechtensteinische Wirtschaft eine Orientierungshilfe darstellen.

³⁸ Unverständlicherweise andere Wertung: Lüders, 1998, a.a.O., denn eigene Erfahrungen bei Messkampagnen zeigen dagegen einen hohen Einfluss von Wetterbedingungen

Die Regierung entspricht mit dieser politischen Grundsatzerklärung ihrer Aufgabe, eine nachhaltige Telekommunikationspolitik festzulegen und durchzuführen. Sie versteht diese Aufgabe vor allem darin, den auf dem liechtensteinischen Telekommunikationsmarkt tätigen Unternehmen stabile, verlässliche und transparente Rahmenbedingungen zu verschaffen, um diesen einen möglichst großen unternehmerischen Erfolg im Interesse der liechtensteinischen Konsumenten zu ermöglichen.“³⁹

Sofern dieser Anspruch auf Planungssicherheit entsprechendes Gewicht erhält, sind auch Maßnahmen wie die Senkung von Grenzwerten als Rahmenbedingung langfristig anzukündigen, verbindlich mit Übergangsfristen zu versehen und ggf. die Einhaltung zu honorieren.

Darüber hinaus sind die Rahmenbedingungen und evtl. Veränderungen an die Grundlagen des Telekommunikationsgesetzes gebunden, welches vor allem vorschreibt, die Marktteilnehmer nicht einseitig zu belasten, zu diskriminieren oder unverhältnismäßige Anforderungen zu stellen.

Auszug aus TelG:

„Art. 4 Grundsätze für den Vollzug dieses Gesetzes

- 1) Der Vollzug dieses Gesetzes hat den Grundsätzen der Objektivität, der Nachprüfbarkeit und der Nicht-Diskriminierung zu entsprechen.
- 2) Er hat insbesondere gerechtfertigt und verhältnismäßig zu sein in Bezug auf:
 - a) bestehende technische Spezifikationen;
 - b) grundlegende Anforderungen;
 - c) die öffentliche Sicherheit, Ordnung und Sittlichkeit;
 - d) den Gesundheitsschutz und die Sicherheit der Benutzer von Telekommunikation;
 - e) den Umweltschutz.“⁴⁰

Daher sind auch in dieser Studie diese Maßstäbe der technischen „Verhältnismäßigkeit“ aufzuzeigen, zu entwickeln und anzuwenden.

Es ist grundsätzlich immer erlaubt⁴¹ "Telekommunikationsanlagen" die nach EWR-Recht zugelassen sind, in Verkehr zu bringen.

Das Gesetz geht sogar soweit, „Verlustrausgleich“ für den Diensteanbieter zu folgern, wenn in gewisser Zeit keine Wirtschaftlichkeit für einen „angeordneten“⁴² Dienst eingetreten ist.

³⁹ Pressemitteilung der Regierung vom 30.9.2004, download unter <http://www.llv.li/news.htm?reference=50767&lpid=3789&imainpos=1836&checkSum=278E71B49DBA052C3F63765FFDF909A2>; dito Grundsatzerklärung Nr. 55/2004 im Wortlaut vom 24.8.2004;

⁴⁰ Quelle: Telekommunikationsgesetz (TelG); aus Liechtensteinisches Landesgesetzblatt, Jahrgang 1996, Nr. 132, ausgegeben am 30. August 1996, Gesetzssammlung Nr. 784.10

⁴¹ Definition des TelG, „Art. 5 Begriffsbestimmungen 1) Im Sinne dieses Gesetzes sind:

"Telekommunikationsanlagen": alle Arten von Einrichtungen, die in besonderer technischer Weise für Telekommunikation bestimmt sind" dazu Art. 30: „1) Telekommunikationsanlagen können in Verkehr gebracht werden, sofern dies dem EWR-Recht oder dem PTT-Vertragsrecht entspricht. 2) Telekommunikationsanlagen können insbesondere in Verkehr gebracht werden, sofern sie den anerkannten Regeln der Technik und den grundlegenden Anforderungen entsprechen.“

⁴² Art. 66b, Verlustrausgleich: „In Fällen, in denen die Regierung oder die Regulierungsbehörde die Erbringung eines Telekommunikationsdienstes im Interesse der Benutzer der Telekommunikation in

5.2.3. Dienste, Angebote, Nutzungsszenarien

Im Rahmen der Studie ist es nicht notwendig, abschließende Szenarien der zukünftigen Nutzung zu erstellen. Es reicht aus, zu vermuten, dass zwar die persönlichen Umsätze der Endkunden, also seine gesamten Ausgaben in Telefonie begrenzt sind, aber durchaus in der Mobiltelefonie noch geringe Zuwachsraten entstehen werden.

Angeregt durch die Werbung der Netzbetreiber, durch Generierung von neuen Zielgruppen und Lebensgefühlen nimmt das Maß der Mobilität und auch die Mobilität der Dienste stetig zu. Der Geschwindigkeit und dem Volumen an Datenströmen wird über die Sprachtelefonie in Zukunft größere Bedeutung zukommen als der reinen Erreichbarkeit.

Ein Beispiel für zukünftige Datenraten verbunden mit der Definition von Kundenklassen sei genannt:

„Das Grundvertragsmodell von **UTMS** sieht verschiedene Kundenklassen vor: Gold User, Silver User und Brown User. Der Gold User kann dabei außerhalb von Hot Spots maximal 384 kbit/s und mindestens 144 kbit/s erwarten. Außerdem wird er bei der Kanalvergabe gegenüber den beiden anderen User-Klassen bevorzugt behandelt, wofür er aber naturgemäß auch die höchsten Gebühren zahlen muss. Dem Silver User werden hingegen nur 64 kbit/s garantiert, er kann aber auch Bitraten von bis zu 144 kbit/s erreichen. Brown User müssen sich mit einer zugesicherten Übertragungsgeschwindigkeit von gerade einmal 16 kbit/s zufriedengeben, können aber durchaus auch mit 144 kbit/s im Netz unterwegs sein.“⁴³ Schwierigkeiten in der Planung der Infrastruktur gibt insbesondere die Annahme eines Mix an diesen Nutzungen mit jeweils unterschiedlicher Datenrate vor⁴⁴.

Dabei kommen im Zusammenhang mit der Immissionsminimierung entscheidende Fragen auf: Zum einen widersprechen sich die Senkung von Feldern und die **Bereitstellung hoher Datenraten** mittels hoher Pegel auf den ersten Blick. Zum anderen geht der Wettbewerb und die Zuwachsraten zukünftig noch stärker Richtung Festnetz und um dem Festnetzanschluss Konkurrenz bereiten zu können, ist die **Inhouseversorgung** ein wichtiges Kriterium für die Mobilfunkversorgung. Die technischen Probleme, hohe Datenraten im Wettbewerb zum viel günstigeren und leistungsfähigeren ADSL über Kabel anzubieten sind enorm.

Liechtenstein anordnet und in denen die für die Dienstleistungserbringung erforderlichen Investitionen trotz wirtschaftlicher Betriebsführung innert einer geschäftsüblichen Frist nicht abgeschrieben werden können, besteht ein Anspruch des Konzessionsinhabers auf die Leistung eines Verlustausgleiches.“ Die Mobilfunkversorgung dürfte aber heute nicht staatlich angeordnet sein.

⁴³ Quelle: http://www.reamobile.de/specials/umts_3g_special/teil_II.php

⁴⁴ siehe auch Darstellung unter <http://www.umtsworld.com/technology/capacity.htm>

5.2.4. Kosten und Investitionen

Im Rahmen der Aufgabenstellung ist auch die Frage nach den „Kosten für die Mobilfunkbetreiber und Endkunden“ gestellt, welche zumindest in einer Annäherung beantwortet werden sollten.

Ob und wie sich Kosten von Anbietern auf Konsumenten abwälzen lassen, ist durch den Verfasser der Studie nicht zu beantworten. Die harte Wettbewerbssituation und der permanente Preisdruck lassen dies in ökonomisch engen Zeiten fragwürdig erscheinen. Andererseits sind Kunden bei anderen Produkten durchaus bereit mehr für eine andere Qualität und Wertigkeit, auch für ihr Umweltbewusstsein zu bezahlen.

Einigermassen genaue Zahlen über die Kosten der Infrastruktur lassen sich aus Auswertungen vergangener Jahre und der eigenen Planungs- und Bautätigkeit ziehen. Eine umfangreiche Erfassung von Baukosten stammt aus den Jahren 2000 und 2001 und kann zugrunde gelegt werden.

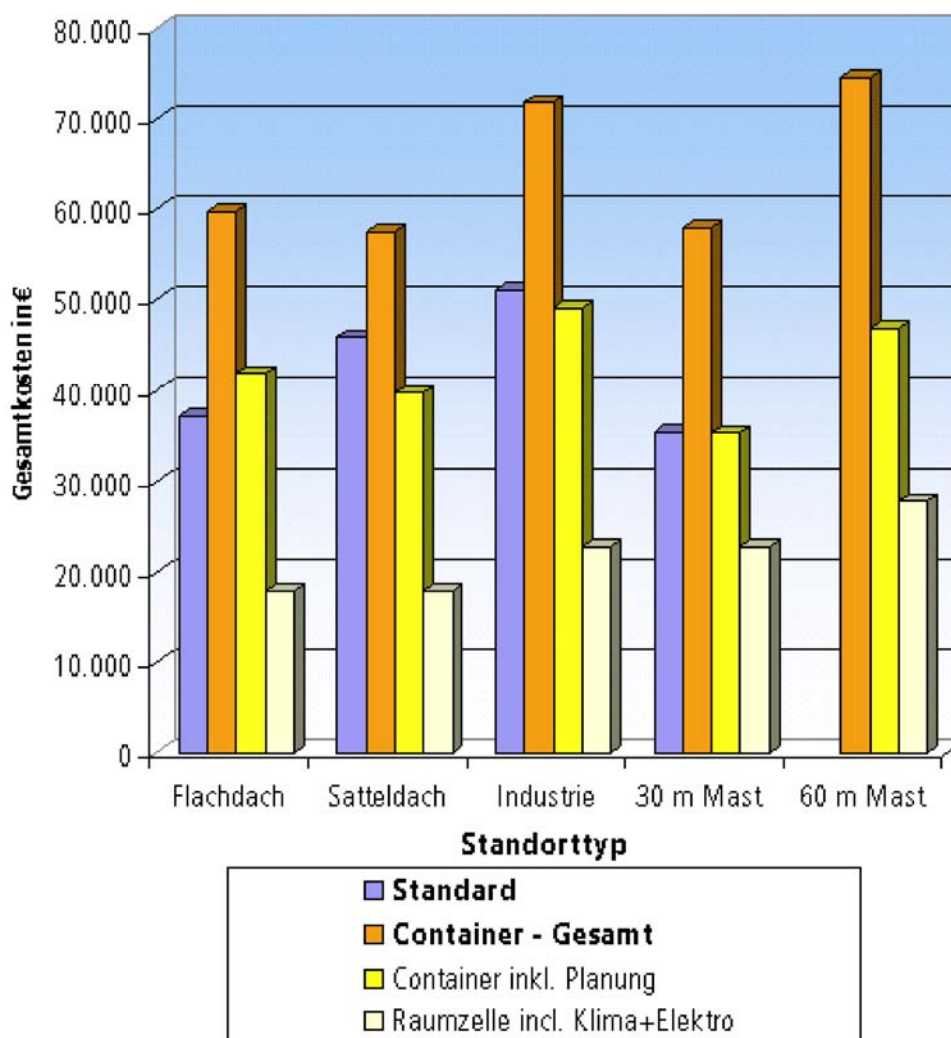


Abbildung 1-23. (Auswertung Baukosten von Mobilfunkinfrastruktur nach Bautypen, Stand 2001; Quelle: eigene Erhebungen enorm GmbH, hgp engineering www.hgpnet.de)

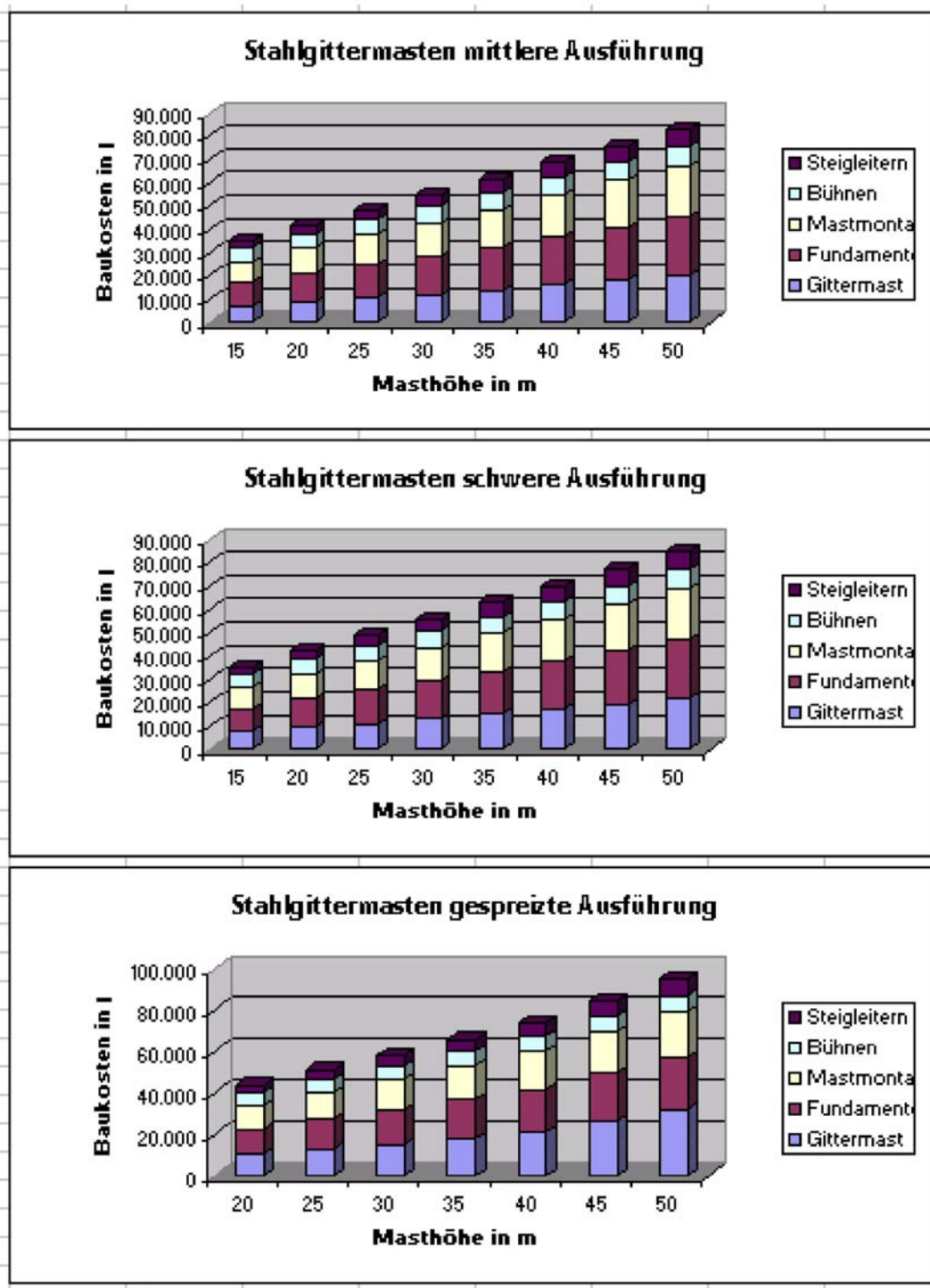


Abbildung 1-24. (Auswertung Kosten von Mastbauwerken, Stand 2001; Quelle: eigene Erhebungen enorm GmbH, hgp engineering www.hgpnet.de)

Die Preistendenz für alle Arten der Infrastruktur geht seit Jahren stetig nach unten und ist seit ca. 2002 bei Niedrigständen angekommen. Jeglicher Preisdruck wurde so von den Operatoren auf Lieferanten und Dienstleister abgegeben.

Der Durchschnittspreis in Deutschland für die Errichtung eines neuen Mobilfunkstandortes auf einem Steildach, z.B. einem Zweifamilienwohnhaus, dürfte sich heute bei ca. 32 bis 38.000,- Euro inkl. einer notwendigen Architekturplanung belaufen. Noch im Jahre 1998 wären für eine ähnliche Leistung, evtl. in einer etwas individuelleren und weniger standardisierten Ausführung, die doppelten Kosten entstanden. Wesentlich günstiger dagegen ist der Ausbau eines vorhandenen Mobilfunkstandortes mit GSM-Sendern für die neue UMTS- Ausrüstung. Wir schätzen die Kosten auf ca. ein Viertel bzw. ein Drittel der Neubaukosten, also rund 10.000,- Euro pro Standort.

Dazu kommen die grob geschätzten Kosten für die Ausrüstung mit Systemtechnik.

Schätzkosten Systemtechnik	CAPEX: Anschaffung	OPEX: Unterhalt pro Jahr
Inst./ Versorgung Station	15.000,- €	5.000,- € /a
Grundkosten BTS	40.000,- €	10.000,- € /a
Basic TRX	14.000,- €	
jedes weitere TRX	10.000,- €	
Festnetzanschluss BTS (ca. 4 MBit)	10.000,- €	5 - 10.000,- € /a

In den Installationskosten ist der Erstanschluss des Standorts im Siedlungsgebiet mit Strom, Elektrounterverteilung, Sicherung, Blitzschutz und Erdung sowie die Klimatisierung und Lüftung des Betriebsraumes enthalten. In den Grundkosten der BTS (base transceiver section) der Anschluss an eine Niedervoltquelle, die Batteriepufferung für ca. 4 Stunden, das Grundgehäuse für alle Einschübe, die externe Überwachung und die Anschlüsse an die Antennenkabel und –verstärker.

In einem realen Umfeld z.B. von weniger dicht bebauten Gemeinden wie Balzers oder Eschen schätzen wir also die **Gesamtkosten** einer Mobilfunkbasisstation, genutzt von einem Betreiber auf:

Schätzkosten Gesamt	CAPEX: Anschaffung	OPEX: Unterhalt pro Jahr
Baukosten Infrastruktur	45.000,- €	5.000,- € /a
Inst./ Versorgung Station	15.000,- €	5.000,- € /a
Grundkosten BTS	40.000,- €	10.000,- € /a
Basic TRX	14.000,- €	
2 weitere TRX	20.000,- €	
Festnetzanschluss BTS (ca. 4 MBit)	10.000,- €	5 - 10.000,- € /a
	144.000,- €	25.000,- € /a

Durch **gemeinsame Nutzung** der Bauinfrastruktur auf einem Dach durch mehrere Netzbetreiber können sich die Kosten einer Basisstation in der Errichtung auf ca. 110.000,- € senken lassen⁴⁵.

Zu diesen externen Kosten der Errichtung kommen noch die Kosten für Personal und Geschäftsführung, die sich anteilig auch als Kosten des Netzaufbaus rechnen lassen. Aufgrund der Geschäftsberichte von Operatoren können diese Kosten im Verhältnis zu Investitionen und Abschreibungen ermittelt werden, für den deutschen Betreiber *mobilcom* addierten sich die zusätzlichen „hauseigenen“ Kosten im Jahr 2002 auf ca. 100% Zuschlag zu den Infrastrukturkosten. Wir schätzen, dass bei einem mehrjährigen und effektiven Geschäftsbetrieb sich die Kosten auf einen Zuschlag von eher 50% belaufen. Da diese Kosten im Geschäftsbetrieb eines vorhandenen Netzes zum großen Teil Sowieso-Kosten im gesamten Versorgungsgebiet darstellen und damit weniger variabel sind, als die Standortwahl und Planung einzelner Standorte, sind diese hier im Vergleich vernachlässigt.

Anders verhalten sich die Kosten einer Sendeanlage auf einem größeren Mastbauwerk, wie z.B. am Standort Nendeln MZA. Wir schätzen die **Gesamtkosten** einer ähnlichen Mobilfunkbasisstation, genutzt von drei Betreibern auf:

Schätzkosten Gesamt	Gesamtkosten:	anteilig auf 1 Betreiber
Baukosten Mastbauwerk ca. 60m, Leiter, Kabelweg, Bühnen	300.000,- €	
Wegebau, Erschließung im Forst	50.000,- €	
Versorgungsleitungen, Erdkabel	50.000,- €	
Technikcontainer mit Klima	40.000,- €	
anteilig:	33%	145.000,- €
Inst./ Versorgung Station	15.000,- €	5.000,- €
Grundkosten BTS		40.000,- €
Basic TRX		14.000,- €
2 weitere TRX		20.000,- €
Festnetzanschluss BTS (ca. 4 MBit)		10.000,- €
	455.000,- €	234.000,- €

Im Verhältnis zu einer Mobilfunksendeanlage auf einem Bestandsgebäude mitten in der Siedlungsinfrastruktur erhöhen sich die Errichtungskosten für eine Mobilfunkanlage auf einem freistehenden Mast mit 60 m Höhe um ca. **90.000,- €** pro Netzbetreiber.

Wesentlich geringer fällt die Differenz aus, wenn statt 60m hoher Anlagen nur Mastbauwerke anzusetzen sind, die in ähnlicher Höhe von 20 oder 25 m belegt werden, wie dies auch auf Dächern möglich wäre und die auch näher zu vorhandenen Leitungen und Erschließungswegen im Standortgebiet liegen:

⁴⁵ Zahlenvergleich siehe auch Rundfunk & Telekom Regulierungs GmbH, (RTR): Technisch-wirtschaftliche Studie der RTR- GmbH zum NÖ Sendeanlagenabgabe- Gesetz, Wien, 19.7.2005, S. 45, Tabelle 5; Kosteneinsparungen durch Mitbenutzung werden gesehen in Höhe von ca. 10 bis 40.000,-€

Schätzkosten Gesamt	Gesamtkosten:	anteilig auf 1 Betreiber
Baukosten Mastbauwerk ca. 25m, Leiter, Kabelweg, Bühnen	50.000,- €	
Wegebau, Erschließung am Siedlungsrand	20.000,- €	
Versorgungsleitungen, Erdkabel	20.000,- €	
Technikcontainer mit Klima	30.000,- €	
anteilig:	33%	33.000,- €
Inst./ Versorgung Station	15.000,- €	5.000,- €
Grundkosten BTS		40.000,- €
Basic TRX		14.000,- €
2 weitere TRX		20.000,- €
Festnetzanschluss BTS (ca. 4 MBit)		10.000,- €
	135.000,- €	122.000,- €

Man kann sagen, dass ein Mastbauwerk niedriger (bis ca. 35m) Höhe bei einer Belegung mit mehr als 2 Netzbetreibern **zu günstigeren Investitionskosten** führt, als dies vergleichbare Mehrfachinstallationen auf kleineren Dächern erzielen und zudem häufig auch zu funktechnisch besseren Ergebnissen führen kann. Dies liegt vor allem an der ungebundenen Standortwahl und dem Freifeld in Sendernähe.

Erhebliche Vorteile kann ein größeres Mastbauwerk besitzen, wenn es zugleich geeignet ist, als UHS- (ultra high site) Standort im Netz zu funktionieren und durch die eingesetzte Technik mit schmalen Sektoren mehrere Einzelstandorte zu ersetzen. Laut Erfahrungen des deutschen Netzbetreibers eplus kann eine UHS-Anlage ca. 6 bis 8 normale Sites ersetzen. Bei einer Annahme in der Liechtensteiner Topografie von **nur 5 ersetzten** Anlagen durch 1 UHS- Site sähe eine Vergleichskostenrechnung wie folgt aus. Wir nehmen dabei zurückhaltend an, dass die 5 Standorte nur eine TRX- Belegung von 5x 1/1/1 aufweisen, während die UHS-Site in 2 BTS a 2/3/3 TRXe konfiguriert ist und damit eine ähnliche Gesamtkapazität aufweist. In allen anderen Aspekten sind die Kosten aus den vorangehenden Ermittlungen eingesetzt:

Schätzkosten Vergleich	Gesamtkosten, 5 Einzelstandorte:	Gesamtkosten, 1 UHS Standort auf 60 m Mast:
Baukosten 5 Dachstandorte versa 1 Mastbauwerk	225.000,- €	145.000,- €
Inst./ Versorgung Station(en)	75.000,- €	10.000,- €
Grundkosten BTS, 5 bzw. 2 Stück	200.000,- €	80.000,- €
Basic TRX, 5 bzw. 2 Stück	70.000,- €	28.000,- €

weitere TRX, 10 bzw. 14 Stück	100.000,- €	140.000,- €
Festnetzanschluss BTS (ca. 5*4 bzw. 1*16 MBit)	50.000,- €	25.000,- €
	720.000,- €	428.000,- €

Schon anhand dieses oberflächlichen Vergleiches ließe sich schließen, dass eine funktionierende UHS- Sites erhebliche Kosteneinsparungen von fast 300.000,- € zu konventioneller Bauweise in ihrem Versorgungsgebiet erzielen kann.

Es sei abschließend daraufhingewiesen, dass je nach Lebensdauer einer Anlage bzw. Laufzeit eines Standortmietvertrages ein Kostenvergleich über einen längeren Zeitraum nicht nur unter Einbeziehung der einmaligen Investitionskosten (CAPEX) sondern auch der regelmäßig wiederkehrenden Kosten (OPEX) und evtl. Umbau- und Verlagerungskosten zu anderen, differenzierteren Ergebnissen kommen wird. Da alle oben gemachten Vergleiche zu Ergebnissen innerhalb eines engeren Rahmens führen, ist aus der oberflächlichen Betrachtung noch keine unzumutbare Belastung *per se* für die Betreiber aus dem einen oder anderen Ansatz gefolgert.

6. Status Quo der Netze

Vorbemerkung:

Aufgrund der übergebenen Standortlisten, von Ortsterminen in der Umgebung aller Sendestandorte und von mehreren Messkampagnen wurden alle Expositionsdaten und Sendeleistungen erfasst und durch Eingabe in die firmeneigene Prädiktion als Grundlage von Ausbreitungskarten ausgewertet.

Durch die Erweiterung sowohl des Geländemodells als auch der Standorterfassung auf das benachbarte Ausland ergeben sich hochkomplexe und umfangreiche Datenmodelle. Es ist dabei zur Übersicht möglich einzelne Klassen von Sendern (z.B. GSM oder UMTS, Inland oder Ausland) zu definieren, bzw. Verursacher (inländische oder ausländische Sender) getrennt darzustellen.

6.1. Luftbild als Übersichtskarte

Die Luftbildaufnahmen, die auch der Auswertung und Erstellung des 3D-Geländemodells dienen, sind zu einem Gesamtbild zusammengefügt. Dieses ist als Hintergrund den Prädiktionen hinterlegt und dient der Orientierung.

Die Anlage wurde dem Auftraggeber als eigener Datenträger übergeben.

6.2. Standortliste und Fotodokumentation

Folgende Standorte innerhalb des Liechtensteiner Staatsgebietes wurden vom Amt für Kommunikation bekannt gegeben und von uns im Rahmen der Studie behandelt. Als Stichtag für alle technischen Informationen des Status Quo wurde der **15. Januar 2005** vereinbart. Evtl. spätere Eingaben oder Änderungen sind nicht berücksichtigt.

Nr.	Standort / Bezeichnung	Kurzbeschreibung
1	Balzers Unaxis	Dachstandort auf Flachdach mit Aufbauten
2	Balzers Neugrüt	Zentralmast auf Flachdach
3	Triesen Swarovski	Zentralmast Dachrand Industriehalle
4	Tunnel Portal West	Tunnel Portal zur Einfahrt ins Alpengebiet, Mast rechts an BR- Gebäude
5	Tunnel Portal West (Repeater)	Empfangsantenne an Mast 4, Sendeantenne über Tunneleinfahrt
6	Tunnel Portal Ost (Sektor 2800)	Mast am Talboden bei Tunnelausfahrt
7	Sücka (Repeater)	Mast unterhalb Berggrat
8	Malbun	Mast am Parkplatz Malbun
9	Vaduz Gerster Beton	Zwei Masten als Aufbau auf Stahlkonstruktion
10	Vaduz Postgebäude	Zentral in Ortsmitte gelegenes Gebäude, Dachaufbau

11	Vaduz Erbi	hoch über dem Schloss Vaduz liegender Rundfunkmast
12	Vaduz LTN	Zentralmast auf Dach Telekomgebäude
13	Schaan Buurabund	Zwei Masten auf Silo
14	Schaan Hilcona	Dachstandort auf Hallendach mit Aufbauten
15	Schaan Wiesengasse	Mast nahe Rheinufer, Bahnbrücke, bei Sportgelände
16	Bendern Rheinbrücke	Mast nahe Rheinufer, Verkehrskreuzung
17	Ruggell Pantec	Mast nahe Rheinufer, 2 Masten auf Flachdach von Industriegebäude
18	Eschen Zentrum	auf Gebäudedach Einkaufszentrum
19	Mauren Silo Näscher	Antennen an landwirtschaftlichem Silo
20	Mauren MSC Mobilcom	Dachstandort am Rande Hallendach
21	MZA Nendeln	Mast im Wald am Hang

Abbildung 1-25. (Liste der Liechtensteiner Standorte mit Kurzbeschreibung)

Zu allen Standorten (ohne 7) wurden mehrfache Begehungen gemacht, bei denen mit Kompass und Fernglas die Angaben grob überprüft wurden. Alle Beobachtungen wurden fotografisch dokumentiert.

Erst während der Bearbeitung der Studie wurden im Berggebiet weitere Standorte für andere Funkanwendungen aufgebracht, die sich auch für Mobilfunksender eignen könnten (siehe Kapitel „Berggebiet“ im Teil 2 der Studie).

6.3. Messdokumentation

Die Messdokumentation befindet sich wg. des Umfangs in einer eigenen Anlage, dem Teil 3 dieser Studie.

Es wird hier darauf hingewiesen, dass die durchgeführten Messungen keine Anlagemessungen nach der buwal- Vorschrift darstellen, sondern einzig und alleine als Grundlage der Eichung und damit der Prädiktion dienen.

Wegen des Umfangs der notwendigen Daten und der Vielzahl der zu verfolgenden Standorte ist die geänderte Vorgehensweise von Breit- und Schmalbanderfassungen und die abweichende Messungenauigkeit vertretbar und sinnvoll.

6.4. Versorgungssituation über die Staatsgrenzen hinweg

Anhand des beschriebenen Nokia- Net Monitors lassen sich aus den Logversuchen eines Endgerätes die empfangenen Signale der Netze analysieren.

An einem Standort wurde dies beispielhaft und vergleichsweise für die Liechtensteiner und Schweizer Netze durchgeführt, österreichische Netze konnte das verwendete Gerät NOKIA 6150 an diesem Standort aufgrund der Topografie nicht auflisten.

Ort war das Hotel Kulm in der Ortsmitte in Triesenberg, als Zeitpunkt wurde während eines mehrtägigen Ortstermins die Nachtstunden einer klaren, niederschlagsfreien Nacht gewählt. Die Aufnahmen sind innerhalb geschlossener Räume eines Hotelzimmers gemacht worden, welches ein geschlossenes Fenster mit Isolierverglasung und Talblick nach Westen aufwies. Damit ist diese Versorgungssituation für den Ort Triesenberg mit seiner Westhanglage nahezu typisch. Da diese Ergebnisse jederzeit von Jedermann wiederholbar sind und die Informationen frei verfügbar sind, wird von einer Anonymisierung der Betreiber abgesehen.

Folgende Ergebnisse zeigte der Monitor:

6.4.1. Einloggen in Liechtensteiner Netze

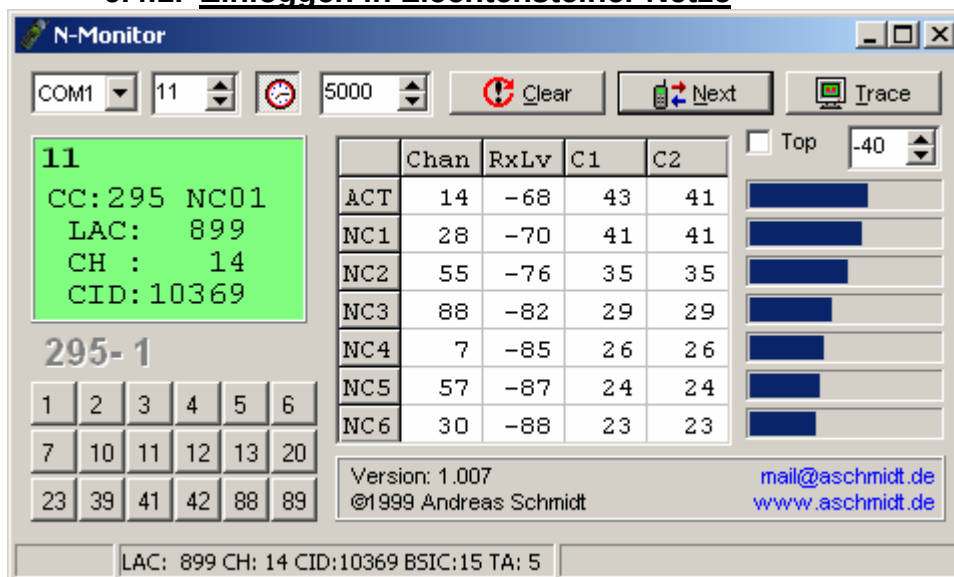


Abbildung 1-26. (Einloggen bei Swisscom Mobile AG (Liechtenstein) (FL GSM))

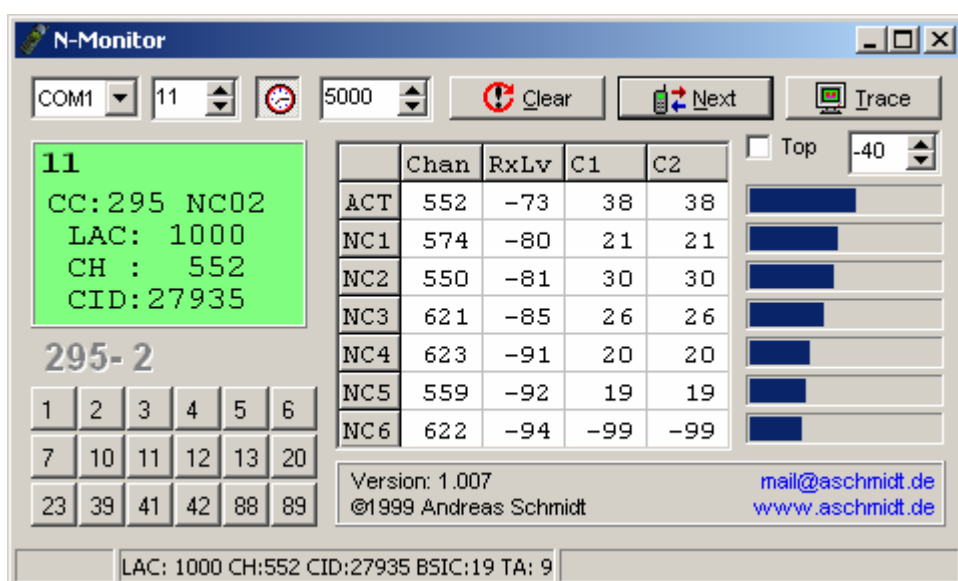


Abbildung 1-27. (Einloggen bei Orange (Liechtenstein) AG (Orange FL))

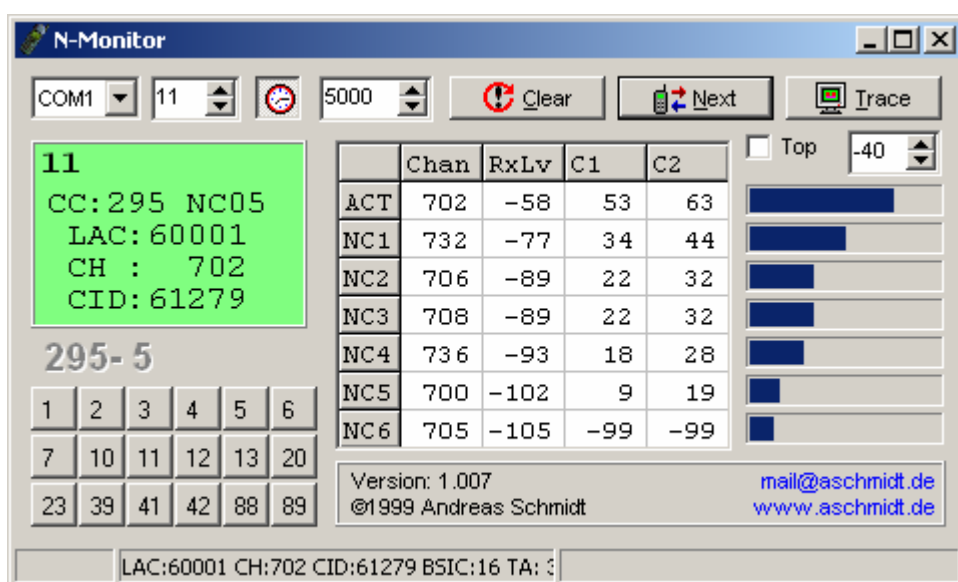


Abbildung 1-28. (Einloggen bei Tango FL Tele 2 AG (Tele 2 AG))

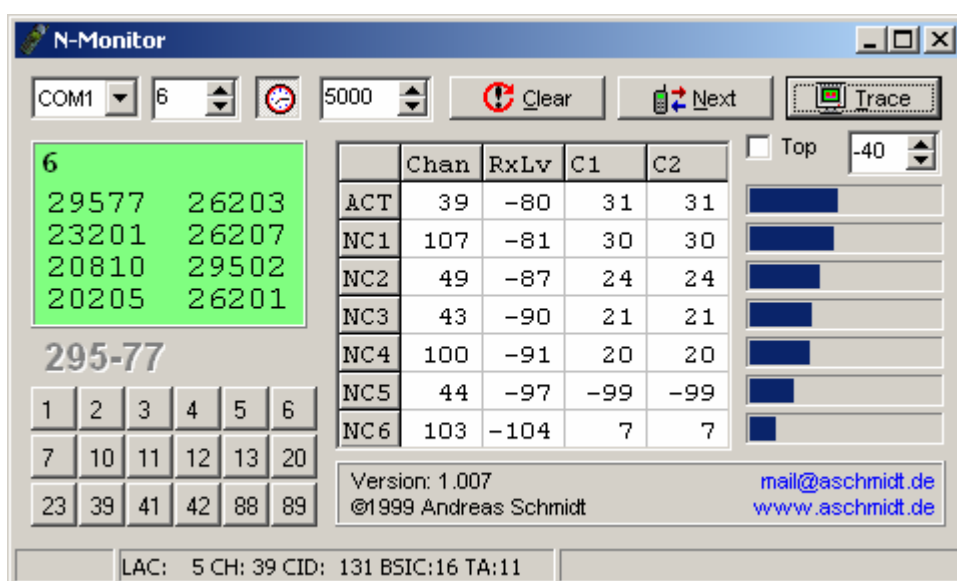


Abbildung 1-29. (Einloggen bei Mobilkom (Liechtenstein) AG (FL1)

6.4.2. Einloggen in Schweizer Netze

Aufgrund eines erlaubten Roamings durch die verwendete deutsche SIM- Card können vom gleichen Standort in Triesenberg auch Einloggversuche in die Schweizer Netze unternommen werden, die die gleichzeitig mögliche Versorgung als virtueller „Schweizer Kunde“ simulieren.

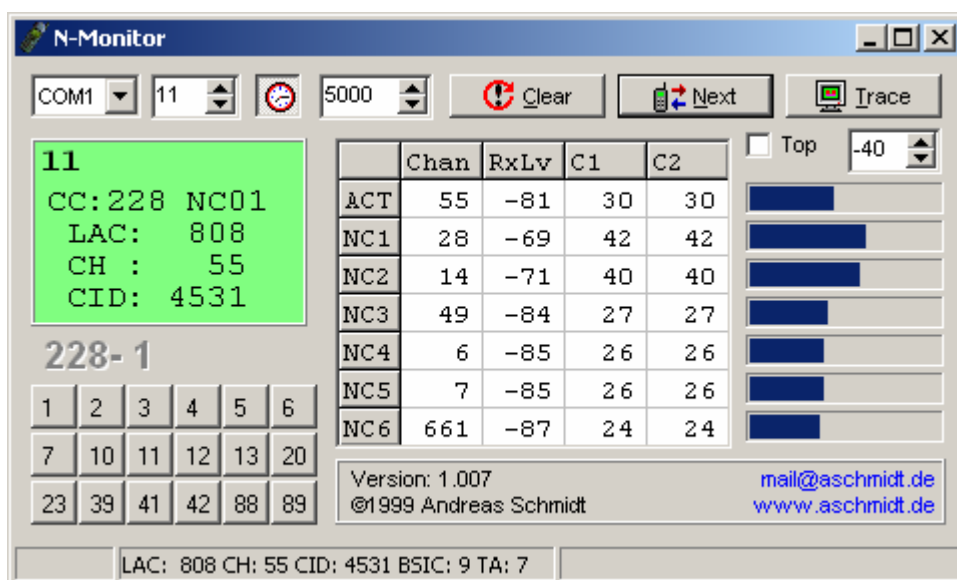


Abbildung 1-30. (Einloggen bei Swisscom Mobile CH (Natel)

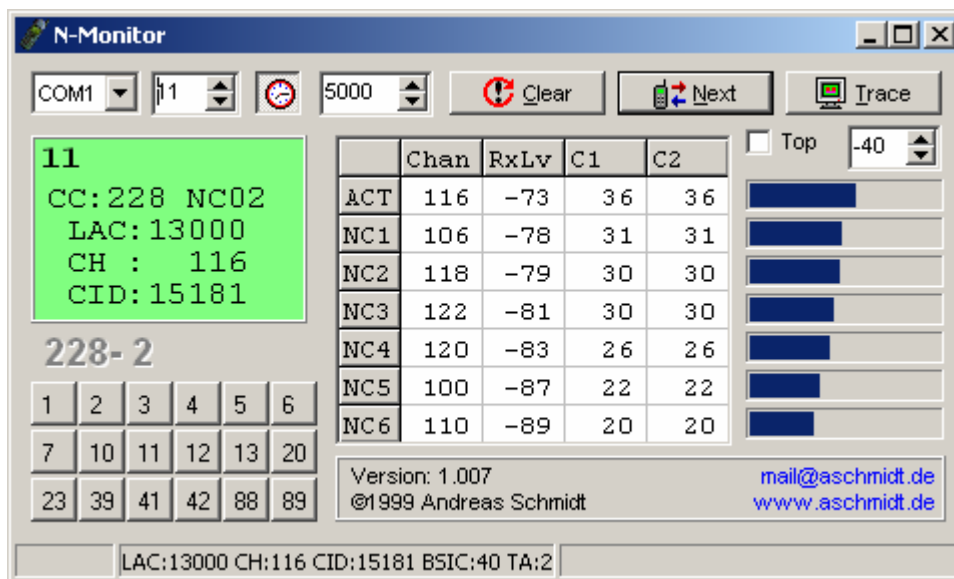


Abbildung 1-31. (Einloggen bei Orange Communications CH)

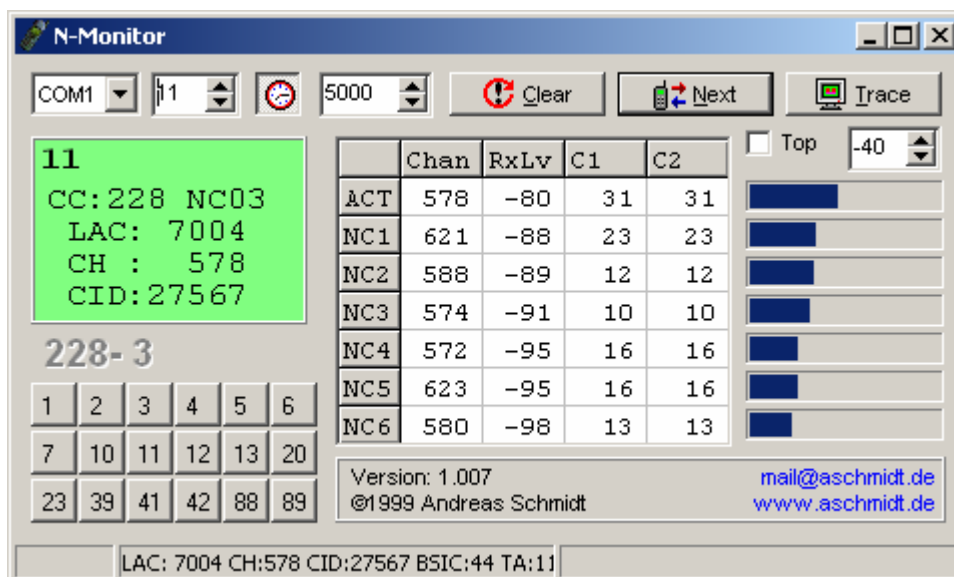


Abbildung 1-32. (Einloggen bei Sunrise CH(TDC Swiss)

Folgende Schlüsse lassen sich aus diesen Beobachtungen ziehen:

- jeder der Liechtensteiner Betreiber ist mit mind. 4 bis 6 Versorgungskanälen am Messort Hotel Kulm verfügbar, dies entspricht mind. 2 meist aber ebenso vielen Standorten
- stärkstes Signal ist CH 702, vermutlich vom Sektor am nahen Standort TunnelPortal West erzeugt, insgesamt dominieren leicht die 900er Frequenzen mit Ihren stärkeren Pegeln
- mit durchschnittlich schwächeren Pegeln, aber fast genauso „vielen“ Kanälen als Kapazität sind alle Schweizer Betreiber erreichbar, insbesondere sind die Pegel ausreichend, um nicht in Liechtensteiner Netze roamen zu müssen

- wie erwartet "schwächeln" die 1800er Frequenzen über größere Entfernung, z.B. aus der Schweiz, mit unter ca. -95 dBm Empfangspegel
- die Versorgung von swisscom FL und swisscom CH wird von den selben Standorten und auf den selben Frequenzen erreicht, Betreiber 228-01 ist also versorgungstechnisch identisch mit Betreiber 295-01, die Trennung ist vermutlich nur "virtuell" durch eine doppelte Signalisierung;

7. Immissionsschutz

7.1. „Bedenklichkeit“ elektromagnetischer Felder

Die Regierungen aller Länder werden sich der Ernsthaftigkeit der Thematik der elektromagnetischen Verträglichkeit in Bezug auf die Umwelt immer mehr bewusst. Die Angst der Bevölkerung vor unsichtbarer und unspürbarer Strahleneinwirkung - auch als "Elektrosmog" umschrieben - wird immer größer.

Verschiedenste Beeinträchtigungen bis hin zu Krankheiten werden oft den elektromagnetischen Feldern durch die niederfrequente Stromversorgung oder den hochfrequenten Radiowellen zugeschrieben. Aus dem Versuch der Minimierung von schädlichen Einflüssen wird die Spannungs- oder Netzfreeschaltung in Wohnräumen immer mehr zum baubiologisch sinnvollen Standard.

Besonders sensibel reagieren Teile der Bevölkerung auf Mobilfunksendeanlagen oder deren Immissionen. Dass elektromagnetische Felder den menschlichen Körper beeinflussen können, steht außer Frage. Bestrahlung in verschiedenen Frequenzbereichen bei unterschiedlichen Gebrechen oder Röntgenstrahlen können heilen und helfen, aber auch schaden. Inwieweit die Stärke solcher Felder gefährlich oder ungefährlich ist, ist in zahlreichen Studien erforscht worden. **Eine klare Grenze der Unbedenklichkeit konnte aber trotz intensiver Forschung nicht definiert werden.** Die Fachliteratur nennt eine Vielzahl von Ergebnissen, aus denen man einander widersprechende Schlussfolgerungen ziehen kann. Gerade die Widersprüchlichkeit ist es, die es so schwer macht, darüber zu urteilen, ob und ab welchem Grenzwert elektromagnetische Wellen schädlich sind. Die Wissenschaft kann bis heute keine eindeutige, gesicherte Antwort auf die Frage der Zusammenhanges zwischen dem "Elektrosmog" und der menschlichen Gesundheit geben. Es wäre gut zu **wissen**, dass oberhalb einer gewissen Schwelle gesundheitliche Störungen mit berechenbarer Sicherheit auftreten, aber unterhalb derselben nicht.

Dann bräuchte man sich nur nach diesen Werten zu richten, um beschwerdefrei die Vorzüge der drahtlosen Kommunikation nützen zu können. Ein Bereich, der stark mit dieser Thematik verbunden ist, ist jener der Psychologie. In Fällen, in denen die psychologische Komponente überwiegt, ist die Betrachtung eines gegebenen Problems nach physikalischen oder technischen Kriterien unmöglich. Plötzlich führt die bloße Anwesenheit eines Sendemastes in der Nähe zu Unbehagen, auch wenn dieser noch nicht sendet.

7.2. Verursacherprinzip und ethischer Ansatz

Liechtenstein besitzt kein übergeordnetes Umweltschutzgesetz (USG) wie die Schweiz. Aufgrund des Zollvertrages sind im Fürstentum Liechtenstein die schweizerischen Rechtsvorschriften des USG jedoch anwendbar, sofern die liechtensteinische Gesetzgebung keine entsprechenden Regelungen enthält.

Daher kann nur in Auslegung des Schweizer Bundesgesetzes aufgezeigt werden, wie dort negative Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern, die zu einem späteren Zeitpunkt bekannt werden könnten, zu Konsequenzen führen würden.

Der Art. 2 „Verursacherprinzip“ dieses Schweizer Bundesgesetzes über den Umweltschutz regelt:

„Wer Maßnahmen nach diesem Gesetz verursacht, trägt die Kosten dafür“

Ferner ist auch für den Vollzug durch Behörden bestimmt:

Art. 59 „Kosten von Sicherungs- und Behebungsmaßnahmen“

„Die Kosten von Maßnahmen, welche die Behörden zur Abwehr einer unmittelbar drohenden Einwirkung sowie zu deren Feststellung und Behebung treffen, werden dem Verursacher überbunden.“

Die Schwierigkeiten bestehen darin, nicht nur einen schlüssigen Zusammenhang von Ursache und Wirkung herzustellen, und dies ganz konkret hier nicht einer ganzen Industrie, sondern einem eindeutigen Verursacher. Weiter gäbe es im Nachweisfall noch zu regeln, welche Maßnahmen bis zur ernsthaften Abwehr oder Abwesenheit von Gefahren tatsächlich notwendig seien.

Deutsche Gerichte haben sich bereits mit der Frage beschäftigt, ob z.B. privat veranlasste Maßnahmen zur Abschirmung von Wohnungen nicht durch einen Netzbetreiber zu zahlen seien, aber schon die Frage, dass diese erheblichen Aufwendungen als Sonderausgaben im Sinne des Einkommenssteuergesetzes gelten könnten, scheiterte an der Tatsache der **Einhaltung der nationalen Immissionsschutzvorschriften**, so dass sich jeder Verursacher auch zukünftig schuldbefreiend auf diese Einhaltung von Gesetzen zurückziehen könnte.

7.3. Vorsorgeprinzip

Der momentan europaweit verfolgte und von Regierungen anerkannte Ansatz zur Festlegung von Grenzwerten ist der Ausschluss von Schädigungen des menschlichen Körpers über thermisch nachgewiesene Wirkungen. Da aber eine Einflussnahme von elektromagnetischer Strahlung auf den menschlichen Körper jenseits der thermischen Wirkung nicht ausgeschlossen werden kann, bleiben Zweifel am Schutz dieser „**Gefährdungsgrenzwerte**“.

Die Weltgesundheitsorganisation WHO beschreibt die Ansätze und das Prinzip der Vorsorge wie folgt: „Das Vorsorgeprinzip wird normalerweise angewandt, wenn ein hohes Maß an wissenschaftlicher Ungewissheit gegeben ist und wenn die Notwendigkeit besteht, etwas gegen eine möglicherweise ernste Gefahr zu unternehmen, ohne die Ergebnisse weiterer wissenschaftlicher Untersuchungen abzuwarten. Nach dem Vertrag von Maastricht versteht sich dieses Prinzip als **„Ergreifen vorsorgender Maßnahmen, wenn hinreichende wissenschaftliche Anhaltspunkte (jedoch nicht unbedingt unumstößliche Beweise) vorliegen, dass ein Nichttätigwerden zu einer Schädigung führen könnte, und ein Tätigwerden nach vernünftiger Abwägung der Kostenwirksamkeit begründet werden kann“.**

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Auslegungs- und Anwendungsmöglichkeiten des Vorsorgeprinzips. Im Jahr 2000 legte die Europäische Kommission eine Reihe von Anwendungsregeln für das Vorsorgeprinzip fest (...), in die auch Kosten-/Nutzen-Analysen einbezogen sind.⁴⁶

Die deutsche Bundesimmissionsschutzverordnung schützt vor „bekannten schädlichen Gesundheitsfolgen“ und stützt sich dabei auf die ICNIRP- Richtlinie⁴⁷. Die abgeleiteten Grenzwerte enthalten keinen ausdrücklichen Vorsorgeaspekt, sondern nur für die Öffentlichkeit eine 5-fach strengere Expositionsbeschränkung als für die beruflich exponierte Bevölkerung, da die Öffentlichkeit der „Exposition durch EM Felder nicht bewusst“ sei und man von diesen normalerweise nicht erwarten kann, „dass sie Vorkehrungen treffen, um die Exposition zu verringern oder zu vermeiden“⁴⁸.

Die ICNIRP- Empfehlungen werden auch deswegen als Gefährdungsgrenzwerte⁴⁹ bezeichnet, da sie sich ausschließlich an nachgewiesenen Gesundheitsschäden orientieren. In der Schweiz, Italien- Provinz Südtirol; Belgien und Luxemburg gibt es zusätzlich zu den Gefährdungsgrenzwerten niedrigere Vorsorgewerte oder sog. Anlagegrenzwerte, die auf die einzelne Mobilfunkanlage bezogen um den Faktor 10 oder 20 niedriger sind. Eine umfassende und grundsätzliche Kritik enthält der bei Veröffentlichung der ICNIRP- Richtlinien verfasste Artikel⁵⁰ des NOVA- Institutes, auf

⁴⁶ WHO- STRAHLENSCHUTZ & UMWELTHYGIENE, ABTEILUNG SCHUTZ DER MENSCHLICHEN UMWELT, WELTGESUNDHEITSORGANISATION: Herstellen EINES DIALOGS ÜBER DIE RISIKEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER, GENÈVE, SCHWEIZ 2002, deutsche Übersetzung; S.68; dort zitiert das DAS VORSORGEPRINZIP DER EUROPÄISCHEN KOMMISSION (2000):

„Wird ein Tätigwerden für notwendig gehalten, so sollten die auf dem Vorsorgeprinzip beruhenden Maßnahmen u. a.:

- *verhältnismäßig sein*, also dem angestrebten Schutzniveau entsprechen;
- *diskriminierungsfrei anwendbar sein*;
- *auf bereits getroffene ähnliche Maßnahmen abgestimmt sein*;
- *daraufhin geprüft worden sein, welche Kosten und welcher Nutzen mit einem Tätigwerden bzw.*

Nichttätigwerden verbunden sind (diese Prüfung sollte - sofern dies zweckmäßig und möglich ist – eine wirtschaftliche Kosten-/Nutzen-Analyse umfassen);

- *überprüft werden*, sobald neue wissenschaftliche Daten vorliegen;
- *eine Bestimmung derjenigen ermöglichen, die die für eine umfassendere Risikobewertung erforderlichen wissenschaftlichen Beweise beibringen müssen.*“

Download und Informationen unter dem EU- Portal <http://europa.eu.int/scadplus/leg/de/lvb/l32042.htm> oder direkt als http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/site/de/com/2000/com2000_0001de01.pdf

⁴⁷ „Richtlinie für die Begrenzung der Exposition durch zeitlich veränderliche elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (bis 300 GHz)“, International Commission Non- Ionizing Radiation Protection, kurz „ICNIRP- Richtlinie“, veröffentlicht in Health Physics 74(4), Seite 494-522, 1998, deutsche Übersetzung in Heft 23, Berichte der Strahlenschutzkommission, S.44: „ Das Hauptziel der vorliegenden Veröffentlichung besteht darin, Richtlinien für die Begrenzung durch EMF festzulegen, die einen Schutz gegen bekannte schädliche Gesundheitsfolgen bieten. Eine schädliche Gesundheitsfolge verursacht nachweisbare Beeinträchtigungen der Gesundheit der exponierten Person oder ihrer Nachkommenschaft;“

⁴⁸ ICNIRP 1998, a.a.O. S. 77

⁴⁹ z.B. in „Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)“, Schweizer Bundesrat Dezember 1999

⁵⁰ Michael Karus, Franjo Grotenhermen: „Internationale Strahlenschutzkommission ignoriert Vorsorgeaspekte beim Elektromog“ in ElektromogReport Nr.4, vom April 1998; download unter http://www.datadiwan.de/netzwerk/index.htm?esmog/es_98_04.htm

den hier verwiesen wird. Deren Kritik ist vernichtend: **„Der Begriff Vorsorge wird in dem gesamten Papier an keiner Stelle diskutiert... Es ist aber ausschließlich eine Frage der Politik, wie mit möglichen Schäden, die nicht ausgeschlossen werden können, umzugehen ist (vgl. Vorsorge). Die ICNIRP vermittelt der Politik durch ihre Grenzwertempfehlungen eine scheinbar auf wissenschaftlichen Fakten beruhende Sicherheit, die sich bei näherem Hinsehen als eine politisch-wirtschaftlich motivierte Entscheidung entpuppt, unsichere Risiken völlig zu ignorieren.“**

In Deutschland enthält die Bundesimmissionsschutzverordnung keinen ausdrücklichen Vorsorgewert. Stattdessen empfiehlt aber die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) aus Vorsorgegründen „daher insbesondere, die Immissionen durch einzelne Verursacher an Orten, die der Öffentlichkeit zugänglich sind, deutlich unterhalb der bestehenden Grenzwerte für die Gesamtexposition zu halten“⁵¹ und zusätzlich „die Grenzwerte nicht vollständig auszuschöpfen, um einen Spielraum für die Nutzung neuer Technologien auch in Zukunft zu behalten.“⁵² In der Unterrichtung im Jahre 2003 durch die Bundesregierung ist durch das Bundesamt für Strahlenschutz geklärt: „Die Notwendigkeit zur Vorsorge ist also eine Folge des sich ständig fortentwickelnden Erkenntnisstandes.“⁵³

Die Staatsmänner haben 1992 in der „UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung“ über das Vorsorgeprinzip beschlossen: "Bei konkretem Verdacht auf gesundheitliche Folgen neuer Techniken muss direkt reagiert und nicht abgewartet werden, bis die oft komplizierten Ursachen lückenlos nachzuweisen sind." Und weiter: **"Wissenschaftliche Unsicherheit darf nicht benutzt werden, um kostenverursachende Maßnahmen, welche Umweltschäden vorbeugen, zurückzustellen."**⁵⁴

Auch der stellvertretende Ausschussvorsitzende für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit der Grünen, MdB Winfried Herrmann, stellt fest, es *„muss nach Rechtssprechung des Bundesverwaltungsgerichts Risikovorsorge auch solche Schadensmöglichkeiten in Betracht ziehen, die sich nur deshalb nicht ausschließen lassen, weil nach dem derzeitigen Wissensstand bestimmte Ursachenzusammenhänge weder bejaht noch verneint werden können und daher insoweit noch keine Gefahr, sondern nur ein Gefahrenverdacht oder ein Besorgnispotential besteht.“*⁵⁵ Anfang August 2001 hatte der Umweltexperte der Grünen sich für eine deutliche Absenkung der Grenzwerte für Mobilfunkstrahlung

⁵¹ Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern, Strahlenschutzkommission, 2001, S. 15, 4.1. Empfehlungen zum Schutz vor nachgewiesenen Gesundheitsbeeinträchtigungen

⁵² a.a.O. SSK 2001, S. 15, Empfehlungen zum Schutz vor nachgewiesenen Gesundheitsbeeinträchtigungen

⁵³ Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2003, Unterrichtung durch die Bundesregierung, Kurzfassung, Anhang B, S.60 / 3. Hochfrequente Felder

⁵⁴ zitiert nach der „Teckbote“, 29.11.2003, siehe auch Artikel in wikipedia; download unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Vorsorgeprinzip>

⁵⁵ Positionspapier Winfried Herrmann, MdB, Vorsorgepolitik für gesundheitsverträglichen Mobilfunk- Zur Novellierung der 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung, 2001

ausgesprochen. "Als ersten wichtigen Schritt müssen wir runter mit den Grenzwerten, so Hermann. Dazu solle für die Strahlenbelastung aus Mobilfunktellern ein "Vorsorgewert" festgeschrieben werden, der nur noch knapp ein Zehntel der bisher geltenden Feldstärke zuließe. An besonderen Standorten wie Schulen, Krankenhäusern und Kindergärten sollte darüber hinaus ein nochmals um zwei Drittel abgesenkter Vorsorgewert gelten, forderte "er"⁵⁶.

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ist hierbei weniger fundamental:

„Zurzeit gibt es bei Einhaltung der Grenzwerte keine wissenschaftlichen Beweise für gesundheitliche Beeinträchtigungen. Trotzdem hält es das BfS aus Gründen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes (Vorsorge) für zweckmäßig, dass diese elektromagnetischen Felder so gering wie möglich gehalten werden. Vorsorge ist sinnvoll, weil es noch offene Fragen über die gesundheitlichen Wirkungen der Felder gibt.“⁵⁷ Deutlicher wird hier das Schweizerische Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: „Aber auch unterhalb dieser Schwelle werden biologische Wirkungen beobachtet. Man bezeichnet sie als nichtthermische Wirkungen. Wie diese ausgelöst werden und ob sie schädlich sind, wird momentan erst erforscht“.⁵⁸

„Die SSK empfiehlt die nationale Umsetzung der EU- Ratsempfehlung zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern, da viele der neuen Anwendungen durch die 26. BImSchV nicht abgedeckt werden und die gleichzeitige Exposition durch mehrere Quellen derzeit nicht ausreichend berücksichtigt wird.“⁵⁹

Die SSK stellt ferner kritisch fest, dass es „die aktuelle Normung zulässt, dass alle Geräte einzeln so ausgelegt werden dürfen, dass sie für sich allein die Immissionsgrenzwerte bereits vollständig ausschöpfen“⁶⁰ In der Zusammenwirkung von Endgeräten und Basisstationen kann dies Folgen haben.

Ferner hat sie sich für die folgenden Empfehlungen zur Vorsorge ausgesprochen, sie „empfiehlt, bei der ... Errichtung von Anlagen die Minimierung von Expositionen zum Qualitätskriterium zu machen“⁶¹, und „... Maßnahmen zu ergreifen, um Expositionen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Rahmen der technischen Möglichkeiten zu minimieren“⁶². Darüber hinaus empfiehlt sie bei der „Errichtung von ortsfesten Anlagen, die elektromagnetische Emissionen verursachen, ... die Einbeziehung von Vertretern der Kommunen in die Planung“⁶³.

⁵⁶ download unter http://www.zdnet.de/news/business/0_39023142_2092993_00.htm;

⁵⁷ Empfehlungen des Bundesamts für Strahlenschutz zum Telefonieren mit dem Handy, download unter http://www.bfs.de/elektro/papiere/papiere/empfehlungen_handy.html am 28.4.2005

⁵⁸ Unterscheidungen der Wirkungen elektromagnetischer Felder, download unter http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fq_nis/auswirkungen/hfi/index.html am 28.04.2005

⁵⁹ Deutsche Strahlenschutzkommission (SSK): „Empfehlungen Neue Technologien (einschließlich UMTS): Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“, 1.4.2003 Seite 4, TOP 9; Übersicht aller Veröffentlichungen unter <http://www.ssk.de/thema/st-720.htm>

⁶⁰ SSK 2003, a.a.O. S. 3

⁶¹ SSK 2003, a.a.O. S. 4, TOP 1;

⁶² SSK 2001, a.a.O. S. 17, Empfehlungen zur Vorsorge

⁶³ SSK 2001, a.a.O. S. 17, Empfehlungen zur Vorsorge

Der Präsident des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz in Salzgitter, König statuiert: "Grenzwerte, die vor nachgewiesenen Gefahren schützen, müssen deshalb um ein Vorsorgepaket ergänzt werden, das wissenschaftlichen Unsicherheiten und bislang nicht erklärbaren Berichten von Menschen mit gesundheitlichen Beschwerden Rechnung trägt. Vorsorge - das ist für mich der Dreischritt: Minimierung der Strahlenexposition - Information - Forschung. Dabei ist nicht nur der Staat gefordert, sondern auch die Industrie, die die Technologie bereitstellt und die Menschen, die den Mobilfunk nutzen.(...) Die Pflicht zur Vorsorge ist inzwischen nicht mehr umstritten und auch von der Industrie anerkannt". „Unnötige Expositionen müssen vermieden werden und unvermeidbare Expositionen müssen so gering wie möglich gehalten werden"⁶⁴

Die Staatssekretärin im deutschen Umweltministerium Probst erklärt die Beweggründe zur Vorsorge im Mobilfunk so: "Ermöglicht wird diese drahtlose Kommunikation durch hochfrequente elektromagnetische Felder, von denen wir wissen, dass sie nicht nur positive Wirkungen entfalten können, die vielleicht mit gesundheitlichen Risiken verbunden sind. Die Kurzlebigkeit moderner Entwicklungen lässt kaum genügend Zeit für eine nachhaltige Gesundheitsforschung. Deshalb müssen wir schon bei der Entwicklung von neuen Technologien mögliche Risiken mitbedenken und entsprechend Vorsorge betreiben. Wer dies tut, hat verstanden, was wir mit Nachhaltigkeit meinen."⁶⁵

Die Forschungsgruppe Jülich⁶⁶ sieht

"risk perceptions as trigger for precautionary action"

und stellt zusammenfassend zur Vorsorge fest:

"Essentially, the precautionary principle recommends that action should be taken to prevent serious potential harm, regardless of scientific uncertainty as to the likelihood, magnitude, or cause of that harm"

und verweist damit auf die Einschätzung der Größe des Risikos, seiner Auswirkungen und Schäden.

Auch die WHO schließt nicht generell aus, dass kein Handlungsbedarf aufgrund der neuesten Erkenntnisse besteht, sondern warnt nur davor, engere Vorsorgewerte auf Basis von Vermutungen aufzustellen oder mit diffusen oder sich widersprechenden Forschungsergebnissen zu begründen:

*"If regulatory authorities have adopted health-based guidelines but, because of public concerns, would like to **introduce additional precautionary measures to reduce exposure to RF fields**, they should not undermine the science base of the guidelines by incorporating arbitrary additional safety factors into the exposure limits.*

⁶⁴ Dipl. Ing. Wolfram König, Evangelische Akademie Loccum, 2002, Zusammenfassung unter <http://www.loccum.de/materialien/koenig/koenig.html> gesamter Wortlaut unter <http://www.bfs.de/bfs/presse/pr02/pr0208.html>

⁶⁵ Simone Probst, Parlamentarische Staatssekretärin beim Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Rede zum 3. BfS-Fachgespräch, 28. April 2005, Berlin

⁶⁶ Peter M. Wiedemann, Holger Schütz: The Precautionary Principle and Risk Perception: Experimental Studies in the EMF Area, Environmental Health Perspectives, doi:10.1289/ehp.7538 (available at <http://dx.doi.org/>), online 10 January 2005, S.7ff.

Precautionary measures should be introduced as a separate policy that encourages, through voluntary means, the reduction of RF fields by equipment manufacturers and the public.”⁶⁷

Dabei wird also der freiwillige Charakter von Maßnahmen für die Immissionsminimierung betont, ein Bedarf aber nicht in Abrede gestellt.

Oft diskutiert wird in Deutschland ein **generelles Gebot zur Minimierung**. Das könnte konkret bedeuten, die Betreiber zu verpflichten, mit der niedrigst möglichen Energiedosis, die einen qualitativen Funkbetrieb gerade noch zulässt, zu emittieren, und so die Immission in schützenswerten Bereichen, z.B. bewohnten Gebieten so gering wie möglich zu gestalten. Den OMEN kommt hierbei eine große Bedeutung bei. Weiter werden als besonders sensibel definiert:

- Bereiche mit Kindern: Schulen, Tagesstätten, Kindergärten
- Bereiche mit schutzbedürftigen Personen: Krankenhäuser, Rehabilitationskliniken, Kuranstalten
- Bereiche mit Schlafplätzen, Wohngebiete

Solche sensiblen, dauerbewohnten Gebiete sollen einen besonderen Schutz vor zu hoher Immission genießen.

Als ein Prinzip der Vorsorge sei auf den Begriff ALARA "As Low As Reasonably Achievable" (so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar). verwiesen. Die WHO definiert ihn als „eine vorsorgende Strategie“, denn er „wird unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie z. B. Kosten/ Nutzen oder Durchführbarkeitsfaktoren für die Risikominimierung verwendet. Diese Betrachtung eignet sich nur zur Betrachtung eines stochastischen Risikos, für das laut Annahme kein Schwellenwert existiert“⁶⁸.

Das Vorsorgeprinzip des nationalen Schweizer Umweltschutzgesetzes verlangt bereits ausdrücklich, dass die Belastung grundsätzlich niedrig sein soll, so niedrig, wie es **technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar** ist.

Diese beiden einschränkenden Bedingungen sollen hier Gegenstand dieser Studie sein. Wie schon in der Aufgabenstellung angekündigt und bei den physikalischen Grundlagen angewendet, sind erneut für den Immissionsschutz vorweg eine Reihe von Begriffen zu klären.

⁶⁷ WHO: Electromagnetic fields and public health: mobile telephones and their base stations, revised June 2000, veröffentlicht im Fact Sheet No. 193, Quelle:

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/en/index.html>, download am 4.6.2005; deutsche Übersetzung: "Vorsichtsmassnahmen durch eine Regierung: Wenn Behörden Regelungen zum Schutz der Gesundheit erlassen haben, jedoch aufgrund öffentlicher Bedenken zusätzliche Vorsichtsmaßnahmen einführen möchten, um die Hochfrequenzexposition zu begrenzen, sollten sie die wissenschaftliche Grundlage der Richtlinien nicht dadurch unterminieren, dass sie willkürliche zusätzliche Sicherheitsfaktoren in die Expositionsgrenzwerte aufnehmen. Vorsorgemaßnahmen sollten als separate Maßnahmen eingeführt werden, die die Gerätehersteller und die Öffentlichkeit dazu ermutigen, freiwillig Hochfrequenzfelder zu vermindern"

⁶⁸ WHO- a.a.O., 2002; Glossar S.73;

7.4. Emission- Immission

Der Begriff **Emission** beschreibt die Aussendungen, die eine elektromagnetische HF-Quelle verursacht, z.B. die resultierenden elektromagnetischen Felder, die von einem Sender erzeugt werden.

Der Begriff **Immission** dagegen bezeichnet die Einwirkungen, die an einem Ort z.B. in Form von elektromagnetischen Feldern auftreten.

Dies regelt 1983 bereits das Schweizer Bundesgesetz über den Umweltschutz in Art. 7⁶⁹: „Luftverunreinigungen, Lärm, Erschütterungen und Strahlen werden beim Austritt aus Anlagen als **Emissionen**, am Ort ihres Einwirkens als **Immissionen** bezeichnet“.

Das Besondere bei mobilen Funkdiensten besteht darin, dass die von den Sendern abgestrahlten Felder kein „Abfallprodukt“ oder unterdrückbarer Nebeneffekt sind, sondern den eigentlichen Zweck der Anlagen darstellen. Es ist also schwerlich möglich, wie bei anderen Umwelteinflüssen eher „erwünschte“ und „unerwünschte“ Emissionen zu unterscheiden, die Existenz von Feldern oder Strahlung ist der eigentliche Zweck der Anlage und nur bei ausreichend vorhandenen Feldern kann eine Funkverbindung auch erfolgreich aufgebaut werden.

Die Schwierigkeiten nehmen noch zu, da anders als beim Rundfunk mit der Erzeugung von hochfrequenten Feldern keine „Einbahnstrasse“ betrieben wird, sondern der Erfolg der Verbindung von einer wechselseitigen Erreichbarkeit von Basisstation (BTS oder node-B) und Endgerät abhängen. In der Regel ist der limitierende Faktor die Sendeleistung der schwachen Endgeräte, die zur Schonung der Batteriekapazität, aber auch der Nutzerpersonen, mit möglichst geringer Leistungsklasse senden sollen.

Hinsichtlich der Strahlenexposition von Personen kann immer die Gesamtbelastung, für die Immission aus dem Mobilfunk das Gesamtsystem d.h. die Emission der Mobilfunkgeräte (uplink) und die Emission der Basisstationen (downlink) betrachtet werden. Es ist wahrscheinlich, dass die Immission durch sendende Mobilfunkgeräte auf einzelne Personen, z.B. starke Telefonierer, die durch die umgebenden Basisstationen sogar übertreffen wird. Aber das Endgerät einzelner Nutzer ist im Gegensatz zu Basisstationen kein permanenter Sender.

Messungen in Gebieten bestätigen häufig, dass die stärkste Emissionsquelle eine naheliegende Basisstation mit Ihrem Organisationskanal ist, wenn nicht sehr nahe DECT- Telefone in Innenräumen oder zentrale, leistungsstarke Rundfunksender dominieren.

Aus diesem Grunde konzentrierten wir uns mit unseren ikom- Verfahren in Deutschland auf die Minimierung der Belastung durch die Basisstationen.

⁶⁹ Systematische Sammlung des Bundesrechts, Bundesgesetz über den Umweltgesetz, Quelle: http://www.admin.ch/ch/d/sr/814_01/a7.html download am 14.5.2005, Art. 7;

Dabei kann mit „Minimierung“ gemeint sein,

- die Gesamtemission zu reduzieren, die eine einzelne Anlage erzeugt, z.B. durch Reduzierung der Sendeleistung
- oder die Immission zu minimieren, die an einem bestimmten Ort oder bestimmten Gebieten, z.B. den bebauten und bewohnten Flächen ankommt

Diese beiden Aspekte können **sich erheblich widersprechen**. Eine schwach sendende Anlage kann an sensiblen Orten in der Nähe hohe Expositionen erzeugen, eine stärkere Aussendung in weiter Entfernung kann dagegen minimierte Felder am gewünschten Einwirkort erzeugen.

Es gibt daher **zwei** Ansätze, den Personenschutz grundsätzlich zu betrachten:

1. Die **„aktive“ Exposition der Nutzer von Mobilfunkgeräten** beträgt hypothetisch auch unter Beachtung der unterschiedlichen Expositionsdauer (Dauerexposition im downlink durch Basisstationen, dagegen einige wenige Nutzungsminuten im uplink durch Mobilfunkgeräte pro Tag) **vermutlich ein Mehrfaches der „passiven“ Exposition durch Basisstationen**. Sollte es irgendwie geartete Beeinträchtigungen der Gesundheit durch Leistungsspitzen beim Mobilfunk geben, so würde man vermuten, dass sich diese zuerst im Wesentlichen durch die „aktive“ Nutzung bei den betreffenden Nutzern bemerkbar machen respektive nachweisbar sein.

2. Sollten dagegen nicht die kurzzeitigen Leistungsspitzen verantwortlich sein für gesundheitliche Beeinträchtigungen, sondern eher die **längerfristigen Dauerexpositionen** und diese auch **auf niedrigem Niveau**, so sind die Versuche, mögliche Gefahren abzuwenden, eher bei den Basisstationen und deren Dauerbelastungen anzusetzen.

Es ist ein weiteres Kriterium der Betrachtungen zu definieren, denn wenn von der Stärke der Felder gesprochen wird, dann ist zu unterscheiden in die Betrachtung kurzzeitiger Spitzen, z.B. der Pulsung im Zeitschlitzverfahren, in die natürlichen Schwankungsbreiten z.B. durch das „short fading“, oder in statistisch ermittelte Durchschnittswerte, wie das Tagesmittel oder eine über einen definierten Zeitraum von z.B. von 6 Minuten ermittelten Mittelwert.

Diese Werte können einen erheblichen Unterschied ausmachen. Insbesondere, wenn durch eine diskutierte Grenzwertsenkung Messungen regelmäßig in die Nähe eines solchen Grenzwertes gelangen, ist es unabdingbar, klare Bestimmungen für die Randbedingungen der Ermittlung zu setzen:

- Messmethode
- Messort
- Messdauer
- Messunsicherheit
- Zuschläge und statistische Mittelung

Wir empfehlen hier für diese Studie und folgen in unserer Betrachtung selbst, an den Schweizer Messvorschriften des buwal festzuhalten und für die zeitliche Geltung die hohe 95%- Wahrscheinlichkeit der Unterschreitung von Werten anzusetzen.

7.5. EMV- EMVU: Verträglichkeit und Umweltverträglichkeit

Neben der oft diskutierten Frage der Beeinflussung menschlicher Gesundheit soll hier kurz gestreift werden, dass es auch alleine aus Sicht der Technik Sinn macht, Immissionen vorausschauend zu begrenzen.

Zum einen ist es innerhalb der Mobilfunknetze wichtig Gleichkanalstörungen von wiederverwendeten oder benachbarten Frequenzen zu vermeiden, was u.a. auch durch Leistungs- und Reichweitenbegrenzung geschehen kann. Diesen Aspekt könnte man den Verursachern wohl selbst überlassen, wenn nicht zur Kompensation von lokalen Problemen Leistungserhöhungen die kurzfristig einfachste Lösung wären, um dem Preis eines „Aufschaukelns“ der Problematik auf lange Sicht. Da andererseits das verfügbare Frequenzspektrum ein kostbares, begrenztes Gut ist, sind auch zur Sicherstellung von Reserven für zukünftige Innovationen, den Wettbewerb und neue Anwendungen Leistungen zu minimieren. Dabei wird deutlich, dass die Inhaber von Sendefrequenzen wenig Interessen haben, Spielräume für potentielle Wettbewerber oder Ersatztechnologien auf Kosten eigener Märkte freizuhalten. Die SSK fordert daher, **die Grenzwerte nicht vollständig auszuschöpfen, um einen Spielraum für die Nutzung neuer Technologien auch in Zukunft zu behalten.**⁷⁰

Ein hoher Standard der Geräteabschirmung vermeidet heutzutage größtenteils die negativen Wechselwirkungen der Geräte untereinander. Das melodische Geknatter von Handys in der Nähe von Autoradios ist eher die Ausnahme. So verschwinden auch nach und nach die Handyverbotsschilder an Tankstellen, es soll auch in Flugzeugen telefoniert werden können und so betreiben Automobilhersteller einen enormen Aufwand bei der Abschirmung der Installationen in ihren PKWs. Wegen der Gefahr von ferngezündeten Bomben sollen in New York die Versorgungssender im U-Bahnnetz erst kürzlich wieder abgeschaltet worden sein⁷¹, damit nicht nach dem Vorbild Madrid ein Handyanruf zur Fernzündung von Bomben in U-Bahntunnels dienen kann. Die technischen Probleme der Versorgung von Tunnels sind dagegen längst gelöst.

7.6. Untersuchungen der Wissenschaft

Die Diskussion ist in hohem Grade emotional aufgeladen und wird auch so geführt. Durch die hohe Mobilisierung und den entstandenen öffentlichen Druck sind eine Reihe von Untersuchungen und Studien zum Umfeld des Themas bereits durchgeführt worden. **Einige Schlagworte** sollen hier aufgeführt werden. Dabei lässt es sich nicht vermeiden, Vergleichsbeispiele aus dem benachbarten Ausland von Liechtenstein heranzuziehen, die nicht immer direkt auf die Diskussion oder Rechtslage im Land anwendbar sind, aber trotzdem Erkenntnisse für die Beurteilung

⁷⁰ a.a.O. SSK 2001, S. 15, Empfehlungen zum Schutz vor nachgewiesenen Gesundheitsbeeinträchtigungen

⁷¹ Süddeutsche Zeitung, 15.7.2005;

liefern können. Um nicht den Rahmen der Studie zu sprengen sind hier nur jeweils Stichworte für weiterführende Literatur aufgelistet.

7.6.1. Studienergebnisse zu EMF und Lenkung

Bei dieser in Österreich durchgeführten Studie⁷² unter dem Stichwort „Mehr Vorsorge vermindert nicht die öffentliche Kritik“ wurde festgestellt, dass die Einführung von Vorsorgemaßnahmen im Bereich elektromagnetischer Felder weder die Sorgen der Menschen vermindern noch das Vertrauen in die Forschung und Gesetzgebung erhöhen würden. Die Forscher sehen darin auch eine Unterstützung der bisherigen Linie der WHO, nach welcher Vorsorgemaßnahmen nur aufgrund wissenschaftlicher Ergebnisse und nicht auf der Basis willkürlicher Annahmen ergriffen werden sollten. „MUT hat am Beispiel des Mobilfunks untersucht, wie sich Vorsorgemaßnahmen auf die Risikowahrnehmung auswirken. Überraschenderweise haben sie keine positive Wirkung; sie verstärken das **Vertrauen** in die Sicherheit des Mobilfunks **nicht**. Vielmehr steigern sie die Risikowahrnehmung“⁷³

7.6.2. Senkung Grenzwerte, Presseerklärung der Bundesregierung

„Regierungssprecher Uwe-Karsten Heye sagte ...laut dpa, der Staatsminister im Kanzleramt, Hans Martin Bury (SPD), und das Umweltministerium würden ...Gespräche mit den Handy-Herstellern führen. (...) Nach Darstellung Kullnicks (Branchenverband BITKOM) hat die Bundesregierung bisher nur mit den Netzbetreibern gesprochen und mit ihnen eine Selbstverpflichtung zur Reduzierung des Elektroschmogs verabredet. Auf eine Senkung der Grenzwerte wurde im Dezember (2001) aber verzichtet. Wenn die Netzbetreiber die Strahlungswerte senken müssten, wären erhebliche Mittel für zusätzliche Sendemasten nötig, um die gleiche Netzabdeckung zu sichern. Die Bundesregierung rechnete nach Darstellung des *Tagesspiegels* im schlimmsten Fall mit bis zu 9,2 Milliarden Euro zusätzlich“.⁷⁴ Der Geschäftsführer des Mobilfunkbetreibers Viag Interkom, Rudolf Gröger, hat sich gegen die Senkung von Grenzwerten bei Mobilfunkmasten ausgesprochen. "Wenn wir die niedrigeren Grenzwerte wie in der Schweiz einführen würden, müsste etwa in einer Fußgängerzone alle hundert Meter eine Antenne stehen", sagte Gröger dem Magazin "Focus"⁷⁵. Auch wenn dies sicherlich nur vorbeugende Polemik war, da auch in der Schweiz nicht alle 100 Meter Masten stehen, ist die Stossrichtung dieser Abwehr klar: Eine Diskussion Ende des Jahres 2001 über die Anpassung deutscher Grenzwerte an strengere Maßstäbe wurde so in ihrer Konsequenz verhindert.

7.6.3. Risikoabschätzung

- und Erarbeitung von Optionen für mögliche Vorsorgekonzepte für nichtionisierende Strahlung ist der Titel einer Abhandlung.

⁷² Peter M. Wiedemann, Holger Schütz: The Precautionary Principle and Risk Perception: Experimental Studies in the EMF Area, *Environmental Health Perspectives*, doi:10.1289/ehp.7538 (available at <http://dx.doi.org/>), Online 10 January 2005

⁷³ Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik: download Kurzfassung unter http://www.emf-risiko.de/projekte/ergeb_emf.html

⁷⁴ HEISE mobil vom 1.2.2002: download 28.2.2005
<http://www.heise.de/mobil/newsticker/meldung/24510>

⁷⁵ VIAG- Interkom, Geschäftsführer R.Gröger, 18.2.2002; Download unter news.zdnet.de/story/0,,t101-s2104517,00.html;

Die folgende Einstufung von Risiken entstammt dem Bericht der Akademie für Technologiefolgenabschätzung, Stuttgart und soll beispielhaft zeigen, wie seitens der Wissenschaft im Auftrag der Politik das Risiko „Mobilfunk“ (hier als Typ *Medusa*) eingestuft und gewertet wird.

Risikotyp	Wahrscheinlichkeit	Schadensausmass	Andere Kriterien	Typische Beispiele
<i>Damokles</i>	gering	hoch	nicht maßgeblich	Kernenergie, großchemische Anlagen, Staudämme, Meteoriteneinschläge
<i>Zyklop</i>	ungewiss	hoch	nicht maßgeblich	Erdbeben, Vulkanausbrüche, Überschwemmungen, AIDS, nukleare Frühwarnsysteme
<i>Pythia</i>	ungewiss	ungewiss	nicht maßgeblich	Gentechnik, Treibhauseffekt, BSE
<i>Pandora</i>	ungewiss	ungewiss	hohe Ubiquität, hohe Persistenz, hohe Irreversibilität	POPs, Endokrine
<i>Kassandra</i>	hoch	hoch	hohe Verzögerung	Anthropogener Klimawandel, Verlust biologischer Vielfalt
<i>Medusa</i>	gering	gering	hohe Mobilisierung	Elektromagnetische Felder

Abbildung 7-1 (Einschätzung typischer Umweltrisiken, Quelle: Akademie für Technikfolgenabschätzung, Stuttgart, Risikopotenziale elektromagnetischer Felder: Bewertungsansätze und Vorsorgeoptionen, Endbericht für das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Mai 2001, Quelle: http://www.emf-risiko.de/pdf/anhang_heft_81.pdf und www.stmuqv.bayern.de/de/elektrosmog/vorsorge.htm)

Es empfiehlt sich bei Interesse weiteres Studium dieser Arbeit unter der Quellenangabe.

7.6.4. Umgang mit Wissen und Unsicherheit

Eine ähnliche Klassifizierung des Konfliktes versucht Dr. Dürrenberger von der Forschungsstiftung Mobilkommunikation. Es seien zwischen Nichtexperten und Experten die Themen Basisstation und Endgerät in Hinsicht auf die Kriterien

Risikowahrnehmung, Nutzenwahrnehmung und Akzeptanz sehr unterschiedlich und geradezu konträr.⁷⁶ Dabei werden die Kategorien aufgestellt:

- Katastrophenmodell: „kleine Ursache- große Wirkung“
- silent spring Modell: „steter Tropfen höhlt den Stein“
- Lineares Modell: „die Dosis macht das Gift“
- Schwellenwert- Modell: „ab diesem Wert wird es gefährlich“
- Akkomodations- Modell: „man kann sich daran gewöhnen“

Auch hier empfiehlt sich bei Interesse weiteres Studium dieser Arbeit unter der Quellenangabe.

7.6.5. Erfahrungen mit freiwilligen Selbstverpflichtungen der Industrie

In Deutschland und in einigen Bundesländern existiert eine Reihe von freiwilligen Vereinbarungen⁷⁷ mit der Mobilfunkindustrie. Neben den Vorschlägen für gewisse Verfahren bei der Standortwahl, der Beteiligung von Kommunen und der Konfliktbewältigung beinhalten die Abmachungen meist auch eine Auswertung oder ein Monitoring. Wenn die Betroffenen selbst diese Auswertung unternehmen, ist das Ergebnis meist mehr oder weniger gefärbt und eignet sich v.a. zur politischen Selbstdarstellung durch Erfolgsmeldung. Ansonsten finden sich im Einzelnen informative Darstellungen über den Typ des Konflikts aus Sicht der Vermittlung.

7.7. Grundsätzliche Lenkungsansätze

Es gibt aus unserer Sicht 3 grundverschiedene Ansätze, eine Immissions-Minimierung zu erreichen:

Zum einen kann der Staat durch **Verbote oder Gebote** Richtlinien schaffen, die einzuhalten sind und deren Missachtung mit Sanktionen belegt werden. Zum anderen geht der Ruf der Industrie selbst vor allem dahin, sich durch **Selbstverpflichtungen** Beschränkungen aufzuerlegen. Während im einem Fall staatliche Maßnahmen mit der Kritik an deren mangelnder Kompetenz, zunehmender Regulationsdichte, Trägheit, Fehlsteuerungsgefahr und Bürokratie bedacht werden, wird andernfalls kritisiert, man mache den „Bock zum Gärtner“, bzw. befähle „den Fröschen den Sumpf trockenulegen“. Man könne dann eben nicht erwarten, dass freiwillig effektive Verbesserungen erreicht werden, die bei den eigentlichen Verursachern auch nur irgendeinen Aufwand erzeugen.

⁷⁶ Dr. Gregor Dürrenberger, Forschungsstiftung Mobilkommunikation, c/o ETH Zürich : Mobilfunk: Umgang mit Wissen und Unsicherheit, Tagungsband einer Veranstaltung vom 2.9.2005 an der ETH Zürich, Bezug bei <http://www.baubio.ch/> unter Service als CD-ROM

⁷⁷ z.B. **Selbstverpflichtung** der bundesdeutschen Mobilfunkbetreiber vom 06.12.2001, Titel: "Maßnahmen zur Verbesserung von Sicherheit und Verbraucher-, Umwelt- und Gesundheitsschutz, Information und vertrauensbildende Maßnahmen beim Ausbau der Mobilfunknetze", Hintergrund unter <http://www.bmu.de/strahlenschutz/doc/2224.php> Auswertung letzter Stand Jan.2005 unter <http://www.bmu.de/strahlenschutz/downloads/doc/35281.php> oder „Bayerischer Mobilfunkpakt“ Informationen unter http://www.stmugv.bayern.de/de/elektrosmog/mob_pakt.pdf oder <http://www.bayern.de/lfu/laerm/emv/index.html>

Darüber hinaus bietet die Warenwelt des freien Marktes als dritte Möglichkeit auch noch den Einfluss des Kunden, der mit seinen Kaufentscheidungen und **Konsumverhalten** die Produzenten zu besseren Produkten zwingt, die sog. „Abstimmung mit den Füßen“. Diese Steuerung scheitert meist am geringen Interesse bzw. an der Komplexität des Problems, was bekannter Weise an der „Warentheke“ spontan nicht unbedingt zu ethisch motivierten Kaufentscheidungen führen wird.

Der Liechtensteiner Studienauftrag ist Bestandteil und Ausfluss eines staatlichen Gesetzgebungsverfahrens. Wir stellen aber einige Ansätze der politischen Lenkung möglichst wertfrei dar und empfehlen alle Konsequenzen und die Wirkungen zu bedenken.

7.7.1. Basisgrenzwert(e) / Grenz- und Schwellwerte

“Da die Immission selbst noch nichts über die Wirkung auf den menschlichen Organismus aussagt, ist sie nur mittelbar ein Maß für die tatsächliche Exposition. Entscheidend ist, wie der Körper die Einstrahlung absorbiert und die aufgenommene Energie verarbeitet. Diese Vorgänge werden durch die spezifische Absorptionsrate (SAR) charakterisiert, die aufgenommene Leistung pro Kilogramm Körpermasse. Der Immission von 100 Millionen $\mu\text{W}/\text{m}^2$, die in biologischem Gewebe zu einer Temperaturerhöhung von ein Grad Celsius führen kann, liegt eine SAR von 4 W/kg zu Grunde.

Mit einem Sicherheitsfaktor 10 wurde als Grenzwert für beruflich exponierte Personen ein SAR-Wert von 0,4 W/kg definiert; für die allgemeine Bevölkerung empfiehlt ICNIRP, mit einem zusätzlichen Sicherheitsfaktor 5 die SAR auf 0,08 W/kg zu begrenzen. An diesen Vorgaben orientieren sich die nationalen Strahlenschutzbehörden der meisten Länder bei der Herleitung der frequenzabhängigen Feldstärke- oder Leistungsdichte-Grenzwerte, die sich in der Praxis leichter messen lassen als der SAR-Wert.

Grenzwerte sind, selbst wenn sie sich aus komplizierten Formeln ableiten, eine politische Übereinkunft. Sie definieren einen Sicherheitsabstand zu wissenschaftlich anerkannten Wirkungsschwellen. Damit markieren sie, wie es ein Kenner der Materie einmal treffend ausdrückte, nicht unbedingt die Schwelle der Gefährdung, sondern die des Gerichtssaales: Ein Überschreiten muss nicht unmittelbare gesundheitliche Schäden nach sich ziehen; es bietet Betroffenen aber rechtlich eine Handhabe, gegen den Verursacher vorzugehen.

Wissenschaftlich anerkannt sind bislang ausschließlich die thermischen Wirkungen hochfrequenter Felder. Grenzwerte stützen sich auf bekannte Effekte; ungesicherte Erkenntnisse oder das Risiko des Nichtwissens berücksichtigen sie nicht. Für vermutete Gefährdungen tragen - im Juristendeutsch - die Betroffenen die Beweislast, nicht der Zustandsstörer. Eine Umkehrung der Beweislast erscheint kaum denkbar. Sonst müssten, da Nulleffekte nicht beweisbar sind, die Betreiber ihre

Anlagen stilllegen. In dieser Hinsicht unterscheidet sich die Mobilfunk-Strahlung nicht von den materiellen Immissionen ökotoxischer Chemikalien in Wasser, Luft und Boden: Jede Festlegung von Grenzwerten ist mit einer Risikozumutung verbunden und der **Fortschritt bleibt ein andauerndes Experiment mit der Gesellschaft.**⁷⁸

ICNIRP- Empfehlungen „Diese Richtlinien werden entsprechend den Fortschritten bei der Identifizierung schädlicher Gesundheitsfolgen von zeitlich veränderlichen elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern in regelmäßigen Abständen überarbeitet und aktualisiert.“⁷⁹

Die ICNIRP ist ein eingetragener Verein (e.V.) mit Sitz in München. Mitglieder sind ausgewählte, internationale Fachleute, eine Aufsicht oder andere Legitimation gibt es nicht. Es ist durch die persönliche Besetzung eine gewisse Nähe zum Bundesamt für Strahlenschutz feststellbar.

Über die gesundheitlichen Beweggründe hinaus bietet auch die Zuteilung von Frequenzen technisch motivierte Gründe für die Beschränkung von Sendestärken: „So können auch gebietsbezogene Parameter angegeben werden, die bei der Frequenzzuteilung zu berücksichtigen sind; hierzu zählt z. B. die Festlegung einer maximal zulässigen **Störfeldstärke oder Störleistungsflussdichte** in einem bestimmten Abstand hinter der Grenze des Einsatz- bzw. Versorgungsgebiets. Die einzelfallbezogene Ausgestaltung der Maximalgrenzwerte des Freq(enz)N(utzungs)P(lan) und der Verwaltungsvorschriften findet sich, neben der Festlegung weiterer Parameter, in der konkreten Frequenzzuteilung. Dies bedeutet, dass die Festlegungen in der Frequenzzuteilung nicht zwingend dem Maximalgrenzwert entsprechen müssen. Vielmehr können - bezogen auf den konkreten Einzelfall - auch niedrigere Werte als die im FreqNP bzw. den Verwaltungsvorschriften angegebenen Maximalgrenzwerte festgelegt werden“⁸⁰.

Zur Beurteilung der Höhe der Exposition wird im Rahmen des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms „... die Frage diskutiert, wie die **Expositionsgruppen "stark/ mittel/ schwach"** definiert und voneinander abgegrenzt werden sollen. ECOLOG würde - vor dem Hintergrund der als vorläufig zu betrachtenden Ergebnisse - eine Exposition von 100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ als "stark" definieren, alles unter 10 oder auch 1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ als "schwach“⁸¹.

⁷⁸ Richard Sietmann: Störfunk fürs Gehirn- Mythos und Realität von Gesundheitsschäden durch elektronische Geräte, in c't 14/2000, S. 218: Elektromog

⁷⁹ ICNIRP 1998, a.a.O. S. 46

⁸⁰ RegTP: Frequenznutzungsteilpläne 226 (Einträge 226001 bis 226009) und 227 (Einträge 227001 bis 227005) Allgemeiner Teil, S.5 download unter http://www.regtp.de/imperia/md/content/reg_tele/frequenznutzung/e-freqntp_226-227.pdf;

⁸¹ Protokoll des Fachgesprächs "Dosimetrie bei epidemiologischen Studien um Basisstationen" Deutsches Mobilfunkforschungsprogramm, BfS Neuherberg, 15. März 2004, TOP 5

7.7.2. Flächendeckende Grenzwerte, Nutzungsarten- Bauzonen

Zusätzlich zu Emissionsbeschränkungen und Immissionschutzgrenzwerten sieht das Schweizer Bundesgesetz für den Umweltschutz für die Kategorie Lärm sog. **Planungswerte** vor.

„Art. 23 Planungswerte

Für die Planung neuer Bauzonen und für den Schutz vor neuen lärmigen ortsfesten Anlagen legt der Bundesrat Planungswerte für Lärm fest. Diese Planungswerte liegen unter den Immissionsgrenzwerten.“⁸²

Ferner regelt Art. 25 in der Folge für die Errichtung ortsfester Anlagen den übergeordneten Zusammenhang von Planungs- und Immissionsgrenzwerten:

“(2) Besteht ein überwiegendes öffentliches, namentlich auch raumplanerisches Interesse an der Anlage und würde die Einhaltung der Planungswerte zu einer unverhältnismässigen Belastung für das Projekt führen, so können Erleichterungen gewährt werden.¹ Dabei dürfen jedoch unter Vorbehalt von Absatz 3 die Immissionsgrenzwerte nicht überschritten werden.”

Ferner bietet sich eine Analogie zur Lärmproblematik an, die unvermeidbare Härten vermeidet, in dem sie in Ausnahmefällen die Lösung der Überschreitung von Planungswerten in Bauzonen auf die Nachrüstung passiver Schutzmassnahmen verlagert. Während dies im Fall von Überschreitung der Lärmplanungswerte z.B. der Einbau von Schallschutzfenstern sein kann, wäre im Fall der Überschreitung von NIS- Planungswerten eine Abschirmung vorzuschreiben oder förderfähig.

Im nächsten Absatz heisst es: *“(3) Können bei der Errichtung von (...) konzessionierten ortsfesten Anlagen durch Massnahmen bei der Quelle die Immissionsgrenzwerte nicht eingehalten werden, müssen auf Kosten des Eigentümers der Anlage die vom Lärm betroffenen Gebäude durch Schallschutzfenster oder ähnliche bauliche Massnahmen geschützt werden.”*

Eine ähnliche Vorgehensweise in Ausnahmefällen wäre auch bei der Einrichtung von **Planungswerten für elektromagnetische Felder** denkbar, die sich nicht an den Emissionen der Anlagen misst, sondern an den Bedürfnissen der Immissionsorte und Bauzonen.

Klar ist dabei, dass es sich im Falle der Schweiz um bundesweit geltende Werte handeln müsste, denn weder die Gemeinden noch die Kantone wären ermächtigt, *“neue Immissionsgrenzwerte, Alarmwerte oder Planungswerte festzulegen“* Art. 65, USG. Im Vergleich mit deutscher Gesetzgebung drängen sich der Vergleich und die Analogie zu Lärm als Emissionsquellen und Geschwindigkeit als Gefährdungsmaßstab auf.

⁸² Systematische Sammlung des Bundesrechts, Bundesgesetz über den Umweltgesetz, Quelle: http://www.admin.ch/ch/d/sr/814_01/a7.html download am 14.5.2005, Art. 23;

7.7.3. OMEN- Konzept

Quasi als Vereinfachung eines Bauzonenprinzips kann die Ausweisung von Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN) mit einem höheren Schutzanspruch, also niedrigerem Grenzwert gelten. Die Definitionen der Liechtensteiner oder Schweizer NISV sind im entsprechenden Kapitel oben dargelegt. Die Kritik kann lauten, dass nicht einsichtig sei, warum manche Orte des Aufenthalts einen größeren Schutzanspruch besitzen, als andere, wo doch nicht verbindlich festzulegen sei, wie lange sich welche Personengruppe wo aufhalten könne. Ebenso machen auch Netzbetreiber geltend, dass gerade Ihre Nutzer am Endgerät dadurch zu schützen seien, dass die Basisstationen in der Nähe von Schulen platziert werden, damit die telefonierenden Schüler mit geringeren Emissionen am Endgerät belastet werden. Da sowohl bei den technischen Grundlagen im ersten Teil, als auch konkret mit einem Rechenexempel zum Niedrigleistungsszenario im Alpengebiet im zweiten Teil dieser Studie auf die Argumentation mit dem Linkbudget eingegangen wird, kann diese Diskussion hier entfallen.

Zusammenfassend lässt sich folgern, dass die Definition von sensiblen Bereichen auch im Immissionsschutz eine Möglichkeit ist, mit der unsicheren Kenntnislage verantwortlich umzugehen und erfolgreiche Parallelen aus anderen Umweltthemen bestehen.

7.7.4. Mindestabstände

Deutsche Gemeinden sind vereinzelt in der Vergangenheit in der Bauleitplanung für Sendeanlagen dazu übergegangen, für die Ausweisung von Standorten Mindestabstände zu Baugebieten und Wohnorten anzusetzen. Diese Vorgehensweise hat zwar noch keiner gerichtlichen Überprüfung⁸³ oder einem Normenkontrollverfahren standgehalten, ist aber aus verschiedener Sicht zu kritisieren. Natürlich spart man sich eine spezifische, teure Standortuntersuchung als „Positivkonzept“, kann schnell im planungsrechtlichen Verfahren vorankommen und besitzt vielleicht vergleichbare Erfahrungen mit anderen Emissionsquellen wie Lärm und Geruch. Andererseits ist diese Ableitung aus der Bauleitplanung dem Medium Elektromagnetismus überhaupt nicht angemessen und wird durch seine Pauschalisierung der Vorhersage von Schutzwirkungen in keiner Weise gerecht. Wie gezeigt wurde, geht die Höhendifferenz zwischen Sender und Messort aufgrund der Antennencharakteristik mindestens in dem ca. 6 bis 8- fachen Masse ein wie der horizontale Abstand, was durch Mindestabstände überhaupt nicht berücksichtigt wäre. Auch spielen eine Reihe von anderen, feineren Kriterien, wie Antennengewinn, Ausrichtung, Sendeleistung, Vorbelastung des Ortes und die eingesetzten Frequenzen eine Rolle und werden nicht berücksichtigt.

Die Herleitung eines Mindestabstandes ist z.B. mit 135 m durch die Stadt Vellmar direkt aus einem Anlagengrenzwert von 1mW/m^2 resultierend, kann jedoch durch die Variablen um das 10-fache über oder 100fache unterschritten sein in diesen 135 m Entfernung. Da wäre es vermutlich zielführender und sinnvoller, wenn schon, dann

⁸³ nach Reaktionsschluss neu eingetroffen: Ablehnendes Urteil des VG Mainz, vom 5.9.2005, Pressemeldung 22/2005 zu 7 K 234/05.MZ

bei einem flächenhaften Immissionsschutzgrenzwert zu bleiben und diesen über Messungen und Hochrechnungen zu ermitteln und zu kontrollieren.

Die Ausbreitung von elektromagnetischen Feldern lässt sich nur über einen einfachen Wert wie den Abstand zum Sender auch nicht ansatzweise ermitteln.

7.7.5. Schutzzonenprinzip (Rückzugszonen oder EM- freie Gebiete)

Durch (deutsche) Vereine elektrosensibler Betroffener⁸⁴ ist mehrfach gefordert worden, Schutzzonen auszuweisen, in denen diese Elektrosensiblen ohne derzeitige Belastungen leben können, aber auch nicht befürchten müssen, dass alsbald auch dort Anlagen gebaut werden können. Dieser Ansatz würde der Einschätzung Rechnung tragen, dass es durchaus besonders elektrosensible Personen geben mag, die in einem Masse negativ von Feldern betroffen sind, dass sie ihr gesamtes Leben darauf abstellen müssen, nicht unter Feldbelastungen zu leben.

Die deutschen Netzbetreiber haben diesen Wunsch mit dem Hinweis auf die Versorgungspflicht nach Lizenz abgelehnt. Wie in den Bedingungen aber ersichtlich ist, sind diese Lizenzen niemals mit einer 100% Versorgungspflicht verbunden, was der Schaffung einer Universaldienstleistung mit einem Rechtsanspruch aller Kunden auf Erreichbarkeit gleichkäme, sondern variieren bei einem Versorgungsziel von 90 bis 98% der Bevölkerung, was oft nur 75% der zu versorgenden Fläche entspricht. Dabei wäre es aus Sicht der Wissenschaft sicher legitim und möglich, einen kleinen Teilbereich eines Landes oder einer Gemeinde von Belastungen freizuhalten, um dem Wunsch der Elektrosensiblen nachzukommen.

Die durchsichtige Argumentation der Betreiber nährt den Verdacht der Gegner weiter, die Industrie wolle mit einem solchen Zugeständnis nur das Fanal vermeiden, Schutzzonen seien machbar und mit der Erholung Elektrosensibler in einer mobilfunkfreien Zone sei auch der Referenzfall geschaffen, mit dem im Umkehrschluss ärztliche Beweise der Schädlichkeit von EMF geführt werden können.

7.7.6. „minimal emission“ als Qualitätskriterium

Derzeit werden bei Vergleichstest von unabhängigen Institutionen, z.B. der Zeitschrift *connect*⁸⁵ in Deutschland oder von Verbraucherschutzverbänden die Qualität der Netze ausschließlich mittels Übertragungskriterien z.B. des Gesprächsaufbaus oder der Fehlerrate bewertet. Die Ergebnisse werden regelmäßig von den Netzbetreibern selbst, die größtenteils die Technik für solche Tests zur Verfügung stellen, als Kriterium ihrer Netze publiziert und verwertet. So rühmt sich t-mobile Deutschland schon zum fünften Mal hintereinander mit dem Prädikat bestes Netz in Deutschland ausgezeichnet worden zu sein.

⁸⁴ z.B. Arbeitskreis für Elektrosensible e.V.; Bochum <http://www.w-lisseck.de/aes/> oder Bundesverband Elektromog e.V., Zorneding: „Der Bundesverband Elektromog e.V. fordert deshalb funkfrie Oasen für Elektrosensible“. download Pressebericht unter <http://www.presseportal.de/story.htx?nr=522199> auch als Forderung „Handy- und mobilfunkfreie Zonen analog autofreien Bereichen“ durch IGUMED, download www.igumed.de

⁸⁵ z.B. Testergebnisse der Zeitschrift connect zusammen mit Fa. ascom, Veröffentlichung vom 16.10.02, Download unter <http://www.connect.de/d/2222>

Da diese Art Wettbewerb von der Industrie selbst getragen und akzeptiert wird, wäre es natürlich denkbar, solche Tests um das Kriterium "Immissionsminimierung" zu erweitern. Dabei müsste die einseitige Betrachtung der reinen Versorgungsqualität einer Sichtweise auf die insgesamt verwendeten oder erzeugten Felder weichen. Sicherlich sind diese Kriterien wie oben gezeigt wurde zum gehörigen Teil widersprüchlich, d.h. sie scheinen sich gegenseitig auszuschließen. Man könnte jedoch auf eine intelligente Weise die Sichtweise des Umweltschutzes für die Industrie selbst interessant machen, hätte damit sämtliche Kompetenz hinter der Fragestellung und könnte auf interessante und optimale Ergebnisse warten.

Technisch könnte sich ein solcher Umweltschutz- Maßstab z.B. als Quotient von Verbindungsqualität zu durchschnittlichem Pegel in Feldstärke darstellen. Weiterführende Überlegungen für diesen zielführenden Ansatz können an dieser Stelle nicht erbracht werden.

7.7.7. Leistungsabhängige Emissionskosten

Derzeit werden die zugeteilten Frequenzen mit einem jährlichen Pauschalpreis dem staatlichen Regulierer gegenüber vergolten. Es wäre aber durchaus auch denkbar, dass in Abhängigkeit von den verwendeten Leistungen Frequenznutzungsentgelte erhoben werden, z.B. als Gebühren per IERP [W] abgestrahlte Leistung. Auch wenn über die Entfernung zum schützenswerten Bewohner, also über die Diskussion von Emission und Immission wiederum hier nicht die beste Lenkung zum Schutz der Bevölkerung einsetzen würde, so hat das Modell große Vorteile.

Es lässt sich einfachst und sofort umsetzen und es sorgt insgesamt für eine verursachernahe und direkte Bepreisung und somit Lenkung des gewünschten Effekts. Die Kosten müssten auch als Grundpreis hoch genug sein, damit kein Leerstand, also eine Nichtnutzung von knappen Frequenzen eintreten könnte, andererseits könnten sich mit den voraussichtlich erforderlichen oder möglichen Leistungen exponentiell steigen, damit eine Einsparung von Sendeleistung eine spürbare Belohnung bedeuten könnte.

Als Kritik könnte man sicherlich ansetzen, dass nur eine üblicherweise beantragte Maximalsendeleistung betroffen sein und nur diese regelbar sein würde. Darauf kann man aber entgegen, dass alle Marktteilnehmer davon gleichermaßen betroffen sein würden und die Höhe der beantragten Leistung durchaus ein Kriterium der verwendeten Leistung ist, bzw. in Zukunft Leistungsbedarf genauer bestimmt und beantragt werden würde, als dies heute der Fall ist.

Man müsste darüber hinaus auf unbürokratischem Wege Maßnahmen (s.u.) belohnen, die auf anderem Wege durch Technikeinsatz und Leistungsregelungen die Feldbelastungen senken können.

7.7.8. Sendeanlagenabgabe

Heftig in der Diskussion stehen zur Zeit Bemühungen der Niederösterreichischen Landesregierung in St. Pölten durch eine Sendeanlagenabgabe⁸⁶ positiv auf das System der Standortfindung und der Mitnutzung von Standorten durch eine Steuer einzuwirken. Man wirft dem Gesetz vor, regulatorisch in die falsche Richtung zu steuern und das Ziel des Gesetzes zu verfehlen, sofern der Gesetzgeber überhaupt ermächtigt sei, Regelungen zu erlassen.

⁸⁶ Niederösterreichisches Sendeanlagenabgabe- Gesetz, Fassung 21.6.2005; download unter <http://www.noel.gv.at/Service/politik/landtag/LandtagsvorlagenXVI/04/437/437G2.pdf>
Studie der RTR unter [http://www.rtr.at/web.nsf/lookuid/1A8953F003EEC77FC1257046004958F5/\\$file/Techn_Wirtschaftl_Studie_RTR_NÖSendeanlagenabgabeG.pdf](http://www.rtr.at/web.nsf/lookuid/1A8953F003EEC77FC1257046004958F5/$file/Techn_Wirtschaftl_Studie_RTR_NÖSendeanlagenabgabeG.pdf)

8. Feldreduzierende Maßnahmen

8.1. Allgemein: Prinzip, Einsatz, Grenzen, Kosten

Ziel des folgenden Abschnittes ist es Maßnahmen aufzuzeigen, mit deren Hilfe die elektromagnetische Emission von Mobilfunkanlagen und damit die Immission in der Umgebung – vornehmlich in bewohnten Gebieten bzw. von OMEN als Orten und Zonen – zu minimieren.

Dabei sollte es Ziel sein, die mittlere Immission in einem Gebiet zu minimieren und bestenfalls gleichzeitig die Emission einzelner Sendeanlagen zu reduzieren. Bestrebungen die Immission durch einzelne Anlagengrenzwerte zu reduzieren sind nur dann sinnvoll, wenn gleichzeitig ein Grenzwert für die Gesamtbelastung durch alle emittierenden Funkanlagen zusammen erlassen wird. Es kann sich also durchaus als sinnvoll herausstellen, wenige stärkere Sender gegenüber mehreren Schwachen zu bevorzugen. Ebenso lassen sich Argumente für den gegenteiligen Ansatz finden. Im Rahmen verschiedener Veröffentlichungen sind bereits Bewertungen ergangen, welche Maßnahmen sinnvollerweise zu positiven Ergebnissen führen können.⁸⁷

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass alle funktechnischen Maßnahmen in eine Balance zwischen Service-Qualität, abgestrahlter Leistung (Immission), Kapazität und Abdeckung eingreifen. „Bei Funkkommunikation, Rundfunk und Fernsehen werden elektromagnetische Wellen über Antennen gesendet und wieder empfangen. Auf der Empfängerseite sind die Signale zu detektieren. Die Grenze für die Detektierbarkeit von Signalen ist physikalisch in der erforderlichen Energie/Bit EB, bezogen auf die vorliegende Störleistung N_0 , gegeben. An dieser Grenze kann kein Verfahren und kein System etwas ändern.“⁸⁸

Unsere Ansätze:

Generell führen **alle Maßnahmen zur Erhöhung der Effektivität** der Luftschnittstelle und damit Maßnahmen zur Verbesserung der spektralen Effizienz (gegeben in Bit pro Herz) zu einer **Reduktion der Immission** (betrachtet bei gleichbleibender Zahl der Teilnehmer). Umgekehrt kann eine größere Anzahl an Teilnehmern durch Einführung von effizienzsteigernden Maßnahmen ohne eine Erhöhung der Immission versorgt werden.

Für jedes Mobilfunksystem gilt, dass eine Reduzierung der Inter-Kanal Interferenzen bzw. der Interferenzen zwischen benachbarten Zellen zu Kapazitätserhöhung bzw. Steigerung der Übertragungsqualität führt. Gleichzeitig bedeutet eine generelle

⁸⁷ Zum Beispiel: Dr.Ing. Martin Virnich; Alternative Technologien zur Mobilkommunikation, BUND Mobilfunksymposium 26.04.2003, S.95-131; s.a. Wiesbeck a.a.O.- MiniWatt- Studie

⁸⁸ Prof. Dr.- Ing. Werner Wiesbeck, Institut für Höchstfrequenztechnik und Elektronik Universität Karlsruhe (TH): Abschlussbericht: BMBF Vorhaben „Alternative Funksysteme mit minimaler Strahlungsleistungsdichte im digitalen Rundfunk, Mobilfunk, drahtlosen LANs“, sog. miniWatt Report, 18.03.2003

Absenkung der Pegel ohne weitere Maßnahmen eine Reduktion der Abdeckung oder der bereitgestellten Kapazität, d.h. es entstehen Funklöcher und Engpässe.

Im folgenden werden Maßnahmen vorgestellt, die mit unterschiedlichem Aufwand die Qualität bzw. die Effizienz der Funkschnittstelle so beeinflussen, dass hieraus eine Reduktion der Pegels verbunden mit einer Reduktion der Immission resultieren kann. Dabei ist die Arbeitshypothese, dass eine geschickte Kombination mehrerer Maßnahmen die Einhaltung strengerer Grenzwerte bei gleichzeitigem Erhalt der Servicequalität ermöglicht. Bei der Umsetzung würde natürlich z.T. in die Netzplanung der NB eingegriffen, was auch immer Folgen für Reichweite, Kapazität, Anzahl der Sites hat und damit den CAPEX und OPEX der Betreiber. Da das Studienergebnis dem Gesetzgeber Hinweise geben soll, wie stark dieser Einfluss ist, setzen wir uns in der Bearbeitung und Auswahl keine Grenzen.

Die technischen Maßnahmen werden der Übersichtlichkeit und für eine Bewertung des Ergebnisses in drei Kategorien eingeteilt:

- **Kategorie A:** Eigenheiten des Systems, Maßnahmen, die sofort verfügbar sind, bereits bewährt, eingeführt oder sogar systemimmanent, wir nennen dies vereinfacht „Stand der Technik“
- **Kategorie B:** Maßnahmen, die bereits entwickelt, spezifiziert, getestet oder im Testbetrieb gelaufen sind, zusammengefasst als „Entwicklungen“
- **Kategorie C:** Maßnahmen, die physikalisch oder theoretisch möglich sind, sich als Möglichkeiten schon für die „Zukunft“ abzeichnen

Dabei sollen auch verschiedene Zeithorizonte Grundlage einer Entscheidung sein. Maßnahmen der Kategorie A und teilweise B sind sofort einsetzbar, Maßnahmen der Kategorien B benötigen teils einen weiteren Vorlauf von einigen Jahren, während die theoretischen Möglichkeiten nach C noch mindestens 5 bis 10 Jahre in der Zukunft liegen. Auch die Marktverfügbarkeit von Technologien könnte als Anhalt für die Einordnung von Maßnahmen dienen, während Kategorie A und B bereits verfügbar sind, arbeiten die Systemhersteller noch an weiteren Maßnahmen für die Zukunft.

8.2. Kategorie A: Stand der Technik

Bereits innerhalb der Spezifikationen von GSM und UMTS lassen sich Maßnahmen definieren, die einen erheblichen Einfluss haben auf die Belastungen vor Ort.

8.2.1. Abstand und Höhendifferenz Station zu Endgerät

Aus der unterschiedlichen Betrachtung von Emissionen und Immissionen ergibt sich die bestimmende Sicht der Art der Emission in Abhängigkeit von der Platzierung der Anlage. Es entspricht unserer eigenen Erfahrung beim Messen, ist bereits mehrfach untersucht und bestätigt und dürfte ein unbestrittener Fakt sein, dass bei den heute verwendeten Makrozellen die beiden Faktoren

- Abstand Immissionsort und Quelle
- relativer Höhenunterschied zur Quelle

bestimmend sind für die messbare Höhe der Exposition. Aus den Serienuntersuchungen des IMST ist z.B. zu erkennen, dass sich eine Erhöhung der Basisstation um 10 Meter, hier relativ zur Umgebung von 10 auf 20 Meter Differenz, eine Senkung der Immissionen als Leistungsflussdichte um den Faktor 10 dB, als auf **ein Zehntel ergibt**. Stark vereinfachend könnte man über den in der Abbildung 1-32 gezeigten Vergleich sagen, dass in einem üblichen Rahmen eine Verdoppelung der relativen Höhe fast immer eine Senkung der Belastung auf eine Zehntel, ca. um das relative Maß von -7 bis -9 dB erwirken sollte. Dieser Höhenunterschied ist innerhalb einer Umgebung von ca. 500m um die Basisstation im Vergleich zum horizontalen Abstand für Immissionsgröße bestimmend. Erst in einem Abstand größer als ca. 500m ist das Gesetz der Freiraumausbreitung mit einem Entfernungszusammenhang in der dritten Potenz annähernd gültig. Ursache dieses theoretischen Zusammenhangs sind die Charakteristika der üblich verwendeten Antennen mit ihrer starken horizontalen Fokussierung.

Nicht zuletzt hängt diese Beobachtung zusammen mit einem anderen Effekt: Bereits in der Ebene empfängt sowohl das Mobilgerät als auch die Basisstation aber nicht nur das direkte, von der Antenne stammende Signal, sondern auch das vom Erdboden reflektierte. Bedingt durch dessen Phasenunterschied und den daraus durch Überlagerungen resultierenden Auslöschungen sieht man hier einen Abfall der Empfangsleistung nicht nur mit dem Quadrat der Entfernung, sondern ab einer gewissen Entfernung vom Sender mit höheren Potenzen der Entfernung.

Die Grenze dieser Entfernung bezeichnet sich als "erste *Fresnelzone*" und hängt von der Wellenlänge sowie den Antennenhöhen der Basisstation und des Mobilgerätes ab. Sie berechnet sich zu:

$$d = \frac{4 \cdot d_1 \cdot d_2}{\lambda}$$

d = Abstand der 1. Fresnelzone zur Basisstation [m]

Wobei:

d1 = Höhe der Basisstationsantenne [m]

d2 = Höhe der Mobilgerätantenne [m]

λ = Wellenlänge [m]

Unterhalb dieses Abstandes d entspricht in der Ebene die entfernungsabhängige Dämpfung etwa der Freiraumdämpfung, darüber fällt die Empfangsleistung mehr als nur mit dem Quadrat der Entfernung ab (in Abhängigkeit von der Rauigkeit der "Ebene" bis zur vierten Potenz).

Bei einer Basisstationsantennenhöhe von 25 m, einer Mobilstationsantennenhöhe von 1,5 m und einer Frequenz von 950 MHz beträgt dieser Abstand nach der o. g. Gleichung ca. 473 m⁸⁹.

⁸⁹ Beispielberechnung von Ralf Wölfle, Quelle: <http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/index.htm>

Dass es ebenso einen Zusammenhang von Ausgangssendeleistung einer Anlage mit den resultierenden Leistungsflussdichten bei gleichem Abstand gibt, sei hier nur durch die Abbildung 1-33 angedeutet.

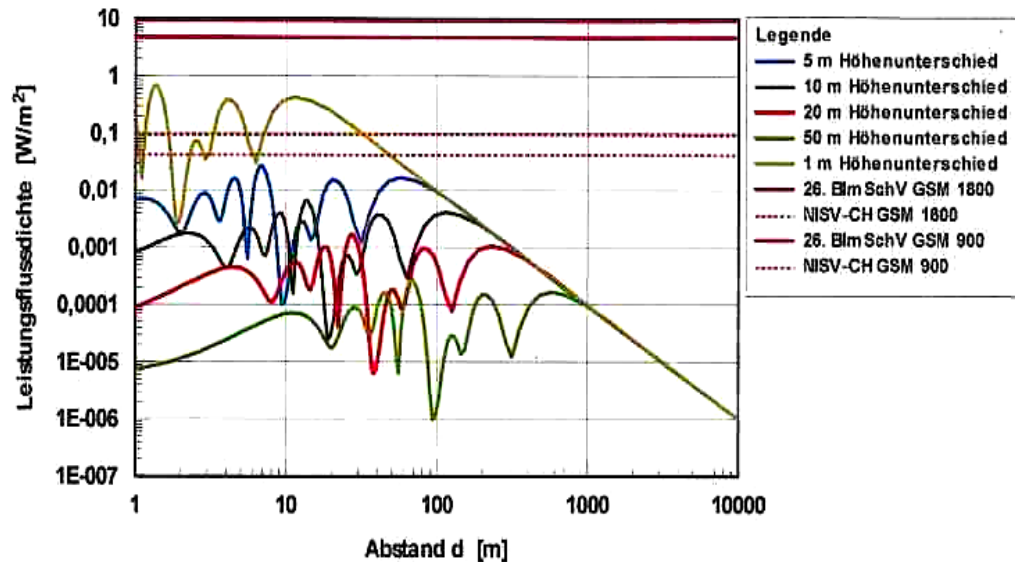


Abb. 3.7 Verlauf der Leistungsflussdichte in Abhängigkeit vom lateralen Abstand. Parametersatz 1 bei Variation des Höhenunterschieds $h_B - h_E$

Abbildung 1-33. (Zusammenhang Höhenunterschied Basisstation und zunehmende Entfernung, Quelle: Ch. Bornkessel, Elektromagnetische Felder in NRW, Abschlussbericht „Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunk Basisstationen“, IMST GmbH, Kamp-Lintfort 29.08.02)

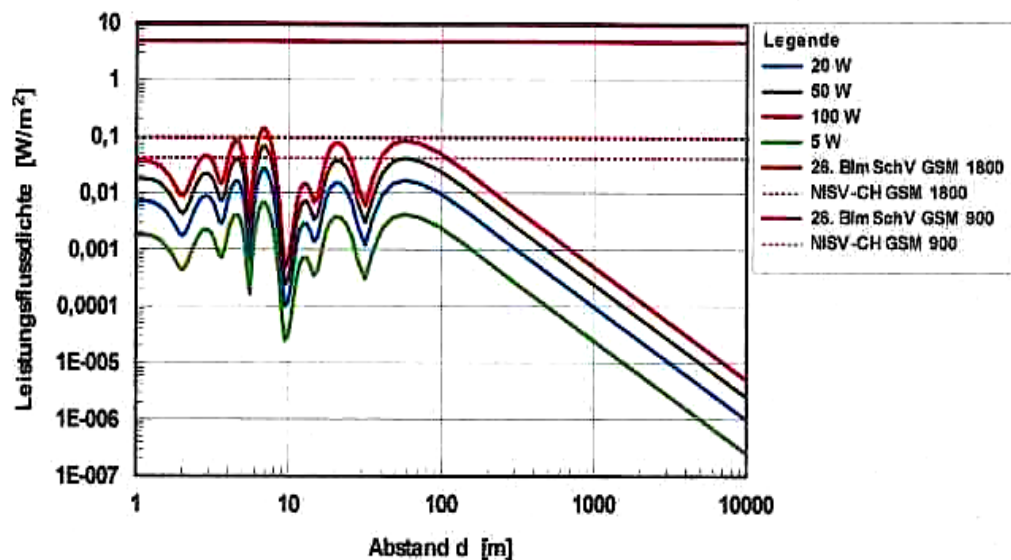


Abb. 3.6 Verlauf der Leistungsflussdichte in Abhängigkeit vom lateralen Abstand. Parametersatz 1 bei Variation der Sendeleistung P_B

Abbildung 1-34. (Zusammenhang Ausgangsleistung Basisstation und zunehmende Entfernung, Quelle: Ch. Bornkessel, Elektromagnetische Felder in NRW, Abschlussbericht „Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunk Basisstationen“, IMST GmbH, Kamp-Lintfort 29.08.02)

Unter idealen Gelände- und Gebäudeverhältnissen (dazu später) und falls ausschließlich dieser theoretisch ermittelte Zusammenhang auch vor Ort bestimmend wäre, nur dann ließe sich die Frage nach der Machbarkeit eines **milliWatt- Konzeptes** sehr einfach beantworten. Als Ableitung aus der Grafik müssten nur alle Sender mindestens 20 Meter höher liegen als die möglichen Mess- und damit Immissionsorte, so wäre mit wenigen Ausnahmespitzen in ca. 50m Entfernung, abgeleitet aus der o.g. Grafik immer der Wert von $0,001 \text{ [W/m}^2\text{]} = 1 \text{ [mW/m}^2\text{]}$ unterschritten.

Tatsächlich scheitert diese „einfache“ Ableitung in der Umsetzung, bzw. ist durch die Verhältnisse vor Ort nur stark begrenzt anwendbar⁹⁰:

☹ Selbst wenn man große Masten auch innerorts städtebaulich und optisch akzeptiert, die eine evtl. 20m hohe Bebauung nochmals um 20m überragen, also 40m hoch sind, müsste auch das Gelände absolut eben sein bzw. es dürfte keine überragenden Solitärgebäude geben, die größer als 20m hoch sind und dies in einem Radius von mind. 500m um die Anlage, solche Verhältnisse dürfte es in der Realität sehr selten geben.

☹ Solche hohe Masten, z.B. 35 bis 40m über Grund dürften mit ihren hohen Reichweiten bei unverändert hoher Leistung Probleme in Nachbarzellen erzeugen, die gesamte Störleistung aller Zellen nimmt erheblich zu, insbesondere wenn alle Zellen als solche „Hightsites“ ausgeführt werden. Ob dies durch Leistungssenkung oder Patternwahl alleine ausgeglichen werden kann, ist fragwürdig.

☹ In den o.g. Grafiken ist der Einfluss weiterer Faktoren nicht genannt: Die Kurven verändern sich durch mechanischen und elektrischen Downtilt, die Neigungen der Antennen, solche können sich auch im Betrieb im Rahmen von Optimierungen nachträglich verändern. Die Kurven geben den Verlauf in der Hauptstrahlrichtung der Antenne wieder, seitlich davon könnte sich eine erhebliche Verbesserung ergeben.

Das oben entwickelte Prinzip jedoch ist richtig und es können positive Effekte für die Immissionsminimierung **und** die Abdeckung gewonnen werden. Gerade der Vergleich der unterschiedlichen Parameter ist unbestritten.

☺ Die Ausbreitungsdämpfung hängt ebenfalls stark von der Höhe der Anlagen ab, so sinkt der Dämpfungsverlust auf 1 km sowohl bei GSM 900 als auch DCS 1800 bei einer Verdoppelung der Höhe um ca. 4 dB⁹¹, d.h. dass in einem bestimmten „unteren“ Bereich es durchaus das Bestreben der Funknetzplanung ist, die Umgebung um mind. 10 m zu überragen.

⁹⁰ Wir verwenden im folgenden die „smilie“- Symbole, um positive und negative Folgen auszudrücken;

⁹¹ Christian Lüders, Mobilfunksysteme, Würzburg, Vogel 2001; S. 268, Bild 7.2, Annahme: urban environment, COST-231 Hata Modell;

8.2.2. Lage von Basisstationen (zu bebauten Gebieten)

Wie oben entwickelt, muss bei der Betrachtung von EMF immer das entscheidende Phänomen "Abstand von der emittierenden Quelle" berücksichtigt werden. Das kann bedeuten, dass ein unmittelbar in der Nähe befindlicher schwacher Strahler, z.B. eine im Meterabstand befindliche Mikrozelle, zu mehr Immissionen führt als ein durchaus sehr starker, aber weit weg befindlicher Strahler.

Als Faustregel kann für Mobilfunkfrequenzen mindestens von einem Abfall der Leistung mit der dritten Potenz des Abstandes ausgegangen werden. Misst man in 50 m Abstand von einer Antenne z.B. eine Leistungsflussdichte von 100 mW/m², so sind es in 100m Entfernung, also dem doppelten Abstand, noch weniger als das 1/2³-fache, also ein Achtel und damit in diesem Beispiel 12,5 mW/m².

Eine geschickte Wahl der Standorte sowie Netzwerkplanung ermöglichen ein qualitativ hochwertiges Netz mit minimaler Immission. Ohne hier abschließend die Verfügbarkeit und Machbarkeit aller Standortvorschläge geprüft zu haben oder die Verfügbarkeit noch besser Alternativen ausschließen zu können, soll im Rahmen der Studie der theoretische Ansatz eines klassischen ikom- Konzeptes aufgezeigt werden. Dabei ist auch schon ein Vorschlag der emissionsminimierenden Maßnahmen, nämlich das UHS- Prinzip mitberücksichtigt. (siehe Teil2, Kapitel 4.4. Alternativkonzept)

8.2.3. Funkübertragung in beide Richtungen

Die Endgeräte sind bei Messungen in der Fläche, insbesondere im Freien selten eine relevante Größe, die Immissionen werden meist bestimmt durch die konstanten Felder der Basisstationen.

Die Sendeleistung des Endgerätes jedoch wird nach Spezifikation bestimmt durch die Leistungsregelung der Basisstation. Eine schwedische Studie⁹² untersuchte in vier sehr unterschiedlichen Regionen in Schweden

- Stadtgebiet (7687 Einwohner/ km²)
- Vorstadt (3175 Einwohner/ km²)
- Kleinstadt (1907 Einwohner/ km²)
- ländliche Region (6 Einwohner/ km²)

das Regelverhalten der Mobilgeräte.

⁹² Lönn S.;Forssen U.;Vecchia P.;Ahlbom A.;Feychting M.Output power levels from mobile phones in different geographical areas; implications for exposure assessment; Occup Environ Med 2004: 61 (9), 769-72. abstract unter: Dokumentationsstelle Elektromagnetische Strahlung und Gesundheit (ELMAR), Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Basel im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Quelle: <http://131.152.226.42/>

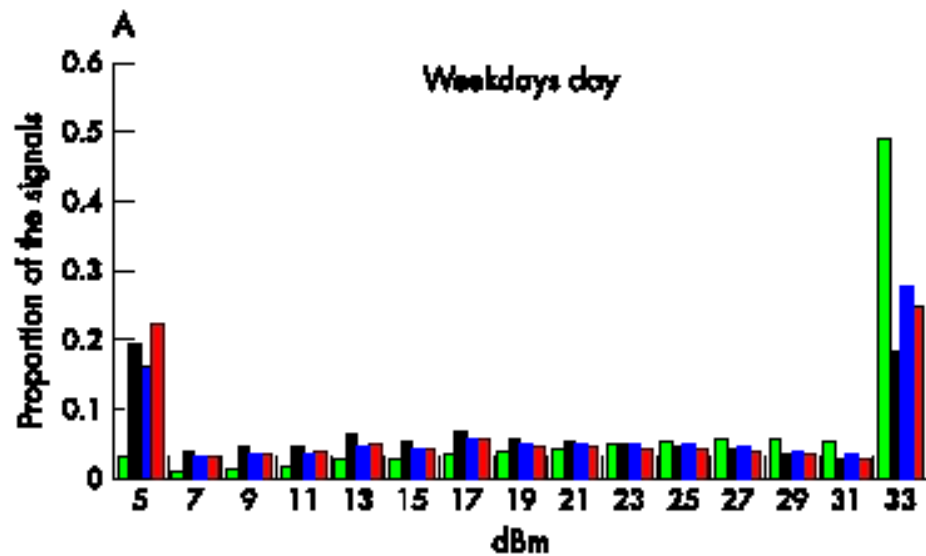


Abbildung 1-35. (Regelverhalten von Handys in einer schwedischen Studie; Quelle: <http://www.raif-woelfle.de/elektrosmog/index.htm>)

In allen Regionen arbeiteten die Mobiltelefone am häufigsten mit der höchsten (33 dBm) und der niedrigsten Sendeleistungsstufe (5 dBm), die Leistungsniveaus dazwischen waren deutlich seltener. Den größten Anteil hatte die Maximalleistung in der ländlichen Region (grüner Balken). Dort wurde in 50% der Zeit mit der höchsten Sendeleistung telefoniert und nur in 3% mit der niedrigsten. Als Erklärungsversuch für die hohe Sendeleistung von Handys auch im städtischen Raum bei naheliegenden Basisstationen kann gelten, „die Abschwächung der Signale durch umliegende Gebäude sein, die dazu führt, dass Mobiltelefone in großen Städten mit höherer Leistung arbeiten müssen“⁹³.

Andere Studien dagegen zeigen, dass ein empirischer Ansatz kaum möglich ist, nur über große statistische Erfassungen und über größere Zeiträume wird es möglich das Regelverhalten des Endgerätes zu erfassen.⁹⁴

⁹³ download unter <http://www.elmar.unibas.ch/Haupt/elmar/FMPro?-db=ELMAR.fp5&-format=/elmar/details.html&identnummer=1815&-find> „Schlussfolgerung: In ländlichen Gebieten arbeiten Mobiltelefone mit einer höheren Sendeleistung, weil es weniger Basisstationen gibt und grössere Entfernungen überbrückt werden müssen. In der Kleinstadt wurde am seltensten mit höchster Sendeleistung telefoniert, obwohl die Basisstationsdichte sehr viel geringer war als in der Grossstadt. Das kann damit zusammenhängen, dass es insgesamt deutlich weniger Sendesignale gab als in der Grossstadt und weniger 'Handovers' von Gesprächen zwischen Basisstationen wegen hohen Verkehrsaufkommens notwendig waren. Ein anderer Grund könnte die Abschwächung der Signale durch umliegende Gebäude sein, die dazu führt, dass Mobiltelefone in grossen Städten mit höherer Leistung arbeiten müssen. Solche geographischen Unterschiede könnten bei der Beurteilung der Exposition von Mobiltelefonbenutzern in epidemiologischen Studien eine Rolle spielen. Sie sollten berücksichtigt und genauer untersucht werden“

⁹⁴ Wiart, Dale, Bosisio, Le Cornec: Analysis of the influence of the power control and discontinuous transmission on RF exposure with GSM mobile phones, in IEEE Transactions on electromagnetic Compatibility, Vol. 42, No.4, November 2000, S.376 ff.

W. König erläutert als Zwischenergebnis zum Mobilfunkforschungsprogramm: "In einem Forschungsvorhaben wurde das Regelverhalten von Handys hinsichtlich der Sendeleistung in alltäglichen Situationen untersucht. Dabei konnten die ersten Ergebnisse die oftmals behauptete Effektivität der Leistungsregelung nicht bestätigen."⁹⁵ Vermutlich bezieht man sich auf die Beiträge von GEORG⁹⁶ im deutschen Mobilfunkforschungsprogramm. Der Begriff Effektivität mag hier missverständlich sein, da die Endgeräte effektiv regeln, aber im Ergebnis effektiv oft am oberen Ende der Leistungen arbeiten.

Eine Untersuchung von WUSCHEK⁹⁷ zeigt, dass sich das Regelverhalten von Endgeräten nicht immer durch die wesentlichen Parameter (Sichtverbindung, Entfernung zur Basisstation und Umgebungsart) eindeutig vorhersagen lässt, sondern sehr starke Einflüsse im Einzelfall herrschen können. Nur im direkten Umfeld (etwa „100 Meter Umkreis“ im Falle der Innenstadt Passau) finden sich „Bereiche mit stark verringerter Sendeleistung“. Zitat: „Eine extreme Leistungsreduktion bei Telefonaten von sich bewegendenden Personen ist also aufgrund der engen Bebauung und der relativ häufigen Handover nicht zu beobachten“.

Für die Bemühung um Senkung der Immissionen im System Endgerät Basisstation betont diese Erkenntnis aus unserer Sicht die Bedeutung der Basisstation als beeinflussbare Quelle von Emissionen. Andererseits wird erkennbar, dass in der Summe auch die Endgeräte eine passable Größenordnung an Leistung abgeben. Insbesondere im Falle der Leistungssenkung von Basisstationen kann eine Punkt erreicht werden, indem die Immissionen der Endgeräte die Sendeleistungen der Basisstationen sogar überwiegen (siehe Teil 2 der Studie: Niedrigleistungsszenario) .

8.2.4. Hierarchie der Versorgungsstandorte

a) Hierarchical Cellular Structures (HCS)

Konzept:

- Ein hierarchisches Konzept an Macro-, Micro- und Pico- Zellen gewährleistet den optimalen Einsatz der zur Verfügung stehenden Funkressourcen, d.h. Transmissionsleistung. Transmissionsleistung wird dezentral dort zur Verfügung gestellt, wo Bedarf ist, anstelle weitreichend alle Teilnehmer zentral zu bedienen.

⁹⁵ Rede des BfS-Präsidenten Wolfram König zum 3. Fachgespräch Mobilfunk „Die Erfassung der tatsächlichen Expositionsdaten - nicht nur durch Felder von Basisstationen, sondern auch von Mobiltelefonen - war auch Thema zweier Fachkolloquien des BfS im Jahr 2004 und lieferte zum Teil überraschende Ergebnisse (....) Es sieht derzeit so aus, dass der häufig diskutierte und im Zusammenhang mit dem „Blauen Engel“ auch kritisierte SAR Wert zur Beschreibung der unterschiedlichen Geräte durchaus geeignet ist. Dies ist eine erfreuliche Bestätigung unserer Bemühungen, strahlungsarme Handymodelle mit dem "Blauen Engel" zu kennzeichnen."

⁹⁶ R.Georg: „Bestimmung der SAR- Werte, die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftreten: Literaturstudie, BfS- Forschungsprojekt M8810 /03/2004), Zwischenbericht unter www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de;

⁹⁷ Prof. Dr.Ing. Matthias Wuschek, Fachhochschule Deggendorf: „Untersuchung der Leistungsregelung eines GSM- Mobiltelefons unter realen Betriebsbedingungen“, in EMVU und Technik, Newsletter 1/2005, S.40 ff.;

- Macro Zellen dienen der Weitbereicherschließung (ca. 250 m bis 10 km) und der Abdeckung höherer Geschwindigkeiten (z.B. Auto, Zug, Schiff), Micro Zellen (ca. 50 – 250 m) der Erschließung von Hot Spots (Fußgängerzonen, Bahnhöfe, Flughafen Terminals, Kaufhäuser, U-Bahnhöfe, etc.) und Pico Zellen (einige 10 m) der Erschließung von Innenbereichen / Büros.
- HCS spielt überall dort eine Rolle, wo Transmissionsenergie als Funkressource ein knappes und wertvolles Gut darstellt (d.h. bei UMTS)

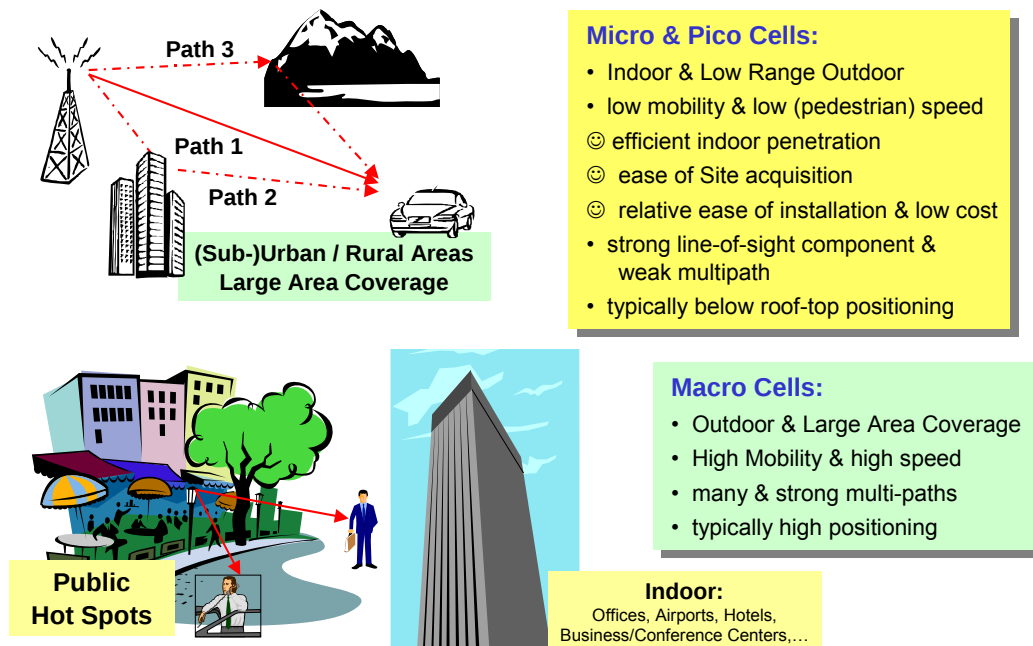


Abbildung 1-36. (Typische Anwendungsbereiche, Quelle: enorm GmbH F. Hompf)

Effekt – Strahlungsbelastung:

- ☺ Micro- und Pico Zellen sollen den größten Anteil der zu übertragenden Datenmassen übernehmen. Somit wird die benötigte Transmissionsleistung in Macro Zellen deutlich reduziert.
- ☺ Auch in Micro- und Pico Zellen wird die benötigte Transmissionsenergie in Verbindung mit / durch den Einsatz der effizienten und dynamischen Power Control Mechanismen deutlich gesenkt.
- ☺ Generell wird die benötigte Übertragungsenergie in beiden Übertragungsrichtungen deutlich gesenkt. Im Uplink kann die zur Übertragung benötigte Leistung in einer Pico Zelle im Vergleich zu einer Macro Zelle im Extremfall um bis zu 70 dB (Faktor: 10.000.000) geringer ausfallen. Auch im Downlink kann die benötigte Transmissionsleistung bei heutiger Technik um 10 dB (Faktor: 100) geringer sein. Typischerweise sind die Transmissionsleistungen in Micro- & Pico-Zellen um 1-2 Größenordnungen geringer als in Macro-Zellen.
- ☹ keine

Effekt – Netzbetreiber (Qualität, Kosten, Kapazität):

- ☺ Micro- & Pico Zellen werden in GSM kaum genutzt. In UMTS werden sie eine zentrale Rolle einnehmen, da die Kapazität in Micro- & Pico Zellen schon heute um ca. 100% größer als in Macro Zellen ist. Durch kapazitätssteigernde Maßnahmen

(z.B. HSDPA, MIMO Antennen,...) wird die Kapazität von Micro- und Pico Zellen in Zukunft um ein Vielfaches über der von „normalen“ Macro Zellen liegen.

☺ Kosten für viele dezentrale Standorte (Hardware, Miete, Administration)

Effekt – Teilnehmer (Qualität):

☺ viele neue Dienste werden in hinreichender Qualität nur in Micro- bzw. Pico- Zellen möglich sein

☺ die geringe Uplink Sendeleistung wirkt sich positiv auf die Sendedauer des Mobilstationen aus

Verfügbarkeit:

Micro-BTS: schon heute (aber geringe Auswahl; Dynamik der Sendeleistung könnte größer sein; siehe Power Control); Pico-BTS nur sehr vereinzelt; noch keine optimierte Lösungen; die Netzplanung ist hinsichtlich Parametern etc. noch nicht auf HCS ausgerichtet / optimiert

Probleme:

- die Netzplanung /-optimierung ist hinsichtlich Parametern etc. noch nicht auf HCS ausgerichtet

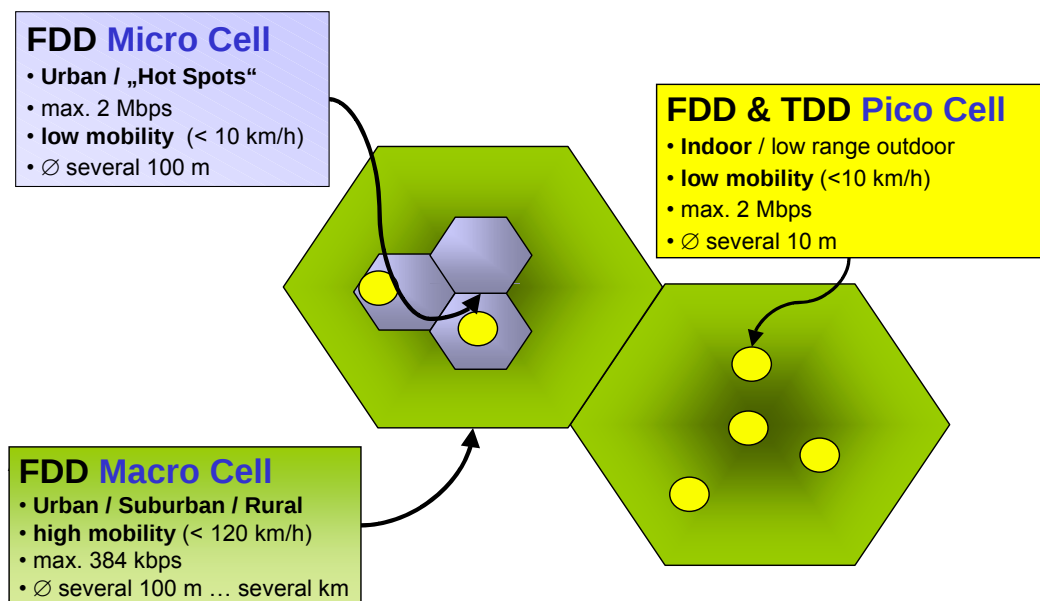


Abbildung 1-37. (Hierarchie von Zellen, Quelle: enorm-F.Hompf)

b) Inhouse / Indoor Versorgung mittels Pico- Zellen

Konzept:

Spezialfall des HCS Konzeptes.

Inhouse oder Indoor Versorgung wird durch Pico Zellen mit geringer Reichweite von einigen 10 m (typischerweise maximal 50 m) gewährleistet.

Inhouse Versorgung ist sinnvoll insbesondere in Gebäuden mit einem hohen Bedarf an mobiler Datenübertragung / Mobiltelefonie und einer hohen bis sehr hohen Dämpfung durch die Außenwände des Gebäudes bzw. durch metallisch beschichtete Fenster

Pico Zellen sollen einerseits den hohen Bedarf an mobiler Datentransmission insbesondere in Gebäuden decken und somit die „klassischen“ Macro- Zellen entlasten. Andererseits kann die Funkplanung der Macro- Zellen positiv verändert werden, da bei der Planung geringere Verluste durch Gebäudewände (Building Penetration Loss) einkalkuliert werden müssen. Für Macro- Zellen in GSM kann dies bei konsequentem Einsatz von Indoor Versorgung die Reichweite um mehr als 5 dB, in UMTS bis zu 10 dB vergrößern.

Eine Indoor- Versorgung kann auch alternativ mittels WLAN geschehen!

Der Anspruch einer Versorgung im Gebäude mit den erforderlichen Sicherheitszuschlägen für „dichte“, nahezu abgeschirmte Gebäude stellt eine große Hürde für die Senkung von Immissionen dar. Für den Spezialfall Rundfunk stellt die miniwatt- Studie Abschätzung des Effekts fest: „Insbesondere ist eine Senkung der Exposition zu erwarten, wenn auf das durch die Initiative Digitaler Rundfunk angestrebte Versorgungsziel „portable indoor“ und damit auf die verstärkte Einstrahlung in den Haus-Innenbereich verzichtet werden würde. Dies würde die erforderliche Sendeleistung nochmals um einen Faktor 10 bis 60 reduzieren.“⁹⁸ In der MiniWatt- Studie wurden die Leistungssenkungen mit konkreten Zahlenbeispielen belegt⁹⁹.

Effekt – Strahlungsbelastung:

Die benötigte Transmissionsleistung in Pico Zellen ist um Größenordnungen niedriger als in Macro Zellen. Die benötigte Sendeleistungen in Macro Zellen und somit die Immissionen werden um ca. eine Zehnerpotenz reduziert.

☹ keine, aber die Picozellen in Gebäuden sind sensibel zu platzieren (siehe BMW- Konzeption der 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ bei einer inhouse- Gebäudeversorgung mittels DECT- Telefonanlagen)

Effekt – Netzbetreiber (Qualität, Kosten, Kapazität):

Deutliche höhere Kapazität von Pico Zellen

im Fall von WLAN Zellen: sehr hohe Kapazität, schonen der UMTS Frequenzbänder für Macro- & Micro- Zellen, geringe Kosten für WLAN

Deutlich größere Macro Zellen, d.h. weniger Sites & somit geringere Roll-Out Kosten

☹ Mehrkosten für Pico Zellen

☹ Funklöcher in Gebäuden ohne Indoor Versorgung (Pico Zellen)

☹ WLAN Indoor Versorgung: (momentan noch) keine Echtzeitdienste (Sprach- & Bildtelefonie)

⁹⁸ Wiesbeck et.al., a.a.O. miniWatt- Studie, S.15 u.

⁹⁹ Prof. Walke, Uni Aachen, Kapitel 4.3.5.3. AP 5.3: Pico-zelluarer Mobilfunk zur Reduktion der Strahlenbelastung in Wiesbeck et.al., a.a.O. miniWatt- Studie, S.47

Effekt – Teilnehmer (Qualität):

- ☺ neue Dienste werden in hinreichender Qualität nur in Micro- bzw. Pico- Zellen möglich sein
- ☺ geringe Uplink Sendeleistung wirkt sich positiv auf die Sendedauer der Mobilstationen aus
- ☹ die Versorgung in Gebäuden ohne Indoor Versorgung mittels Pico Zellen kann nach einer Modifizierung der Macro Zellen Planung (geringerer Building Penetration Loss) nicht mehr gewährleistet werden

Verfügbarkeit:

Pico-BTS nur sehr vereinzelt; noch keine optimierte Lösungen;

Probleme:

die Netzplanung /-optimierung ist hinsichtlich Parametern etc. noch nicht auf Pico Zellen ausgerichtet / optimiert

The **UL coverage** depends on the **UL link budget**, i.e. the maximum allowable path loss L .

The impact of a **path loss improvement ΔL** on the **relative coverage area ΔCA** can be calculated using a propagation model, e.g. COST Hata:

COST Hata model:

In example using height of base station of 30 m.

$$\Delta L_{urban} = 35.22 \cdot \lg(\Delta d)$$

$$\Delta CA = (\Delta d)^2 = \left(10^{\frac{\Delta L}{35.22}} \right)^2$$

Relative Number of sites $\sim 1/\Delta CA$

Improvement of Link Budget (path loss) ΔL	Relative number of sites
0 dB	100 %
1 dB	88 %
2 dB	77 %
3 dB	67 %
4 dB	59 %
5 dB	52 %
6 dB	46 %
7 dB	40 %
8 dB	35 %
9 dB	31 %
10 dB	27 %

Abbildung 1-38. (Zusammenhang von Zahl der benötigten Standorte zum Pfadgewinn, Quelle: enorm GmbH, F. Hompf)

8.2.5. Leistungsbegrenzung (ab initio + dynamisch)

a) Leistungsbegrenzung

“Die elektromagnetische Emission ist direkt von der Sendeleistung abhängig, wobei die Sendeleistung in leistungsgesteuerten (power controlled) CDMA-Systemen im Wesentlichen durch zwei Kenngrößen bestimmt wird:

1. Am Empfänger muss die Leistung der Empfängerempfindlichkeit entsprechen. Das bedeutet, dass die Sendeleistung groß genug sein muss, um den Pfadverlust auszugleichen. Dieser Anteil der Sendeleistung kann als pfadverlust-bestimmt bezeichnet werden.
2. Die Leistungsfähigkeit von CDMA-Systemen wird durch Interferenzen begrenzt. Dazu zählen die Interferenzen aufgrund des Mehrfachzugriffes

(MAI: multiple access interference), die Interferenzen aufgrund der Mehrwegeausbreitung (MPI: multi-path interference oder ISI: intersymbol interference) und die Interferenzen zwischen benachbarten Zellen (ICI: intercell interference). Zur Aufrechterhaltung eines gewissen SINR (Signal-zu-Rausch-und-Interferenz- Abstand) kann es notwendig sein, die Sendeleistung zu erhöhen. Dieser Anteil der Sendeleistung kann als interferenz-bestimmt bezeichnet werden.

Das Ziel der Reduzierung der Sendeleistung und damit der elektromagnetischen Emission kann durch die Reduktion einer der beiden oder beider Anteile der Sendeleistung erfolgen.”¹⁰⁰ Mögliche Maßnahmen sind der Einbau von Dämpfungsgliedern oder die Begrenzung der Ausgangsleistung am Geräteausgang.

b) Power Control (Leistungsregelung)

Konzept¹⁰¹:

Transmission mit optimierter Sendeleistung. Es wird soweit wie möglich nur soviel Sendeleistung eingesetzt wie notwendig zur Gewährleistung der benötigten Übertragungsqualität.

In GSM ist die Leistungsregelung optional, in UMTS verpflichtend und essentiell zum Funktionieren des UMTS Übertragungsverfahrens.

Die (optionale) Leistungsregelung in GSM erfolgt langsam (maximal 2 Zyklen pro Sekunde), in UMTS schnell (1500 Zyklen pro Sekunde). Die schnellere und deutlich effizientere Leistungsregelung von UMTS insbesondere bei Sendebeginn ermöglicht eine niedrigere Transmissionsenergie bei gleichwertigen Diensten.

Die GSM und UMTS Leistungsregelung erfolgt im Uplink (Mobilstation sendet) und Downlink (Basisstation sendet). Der dynamische Bereich der Basisstationen ist bei GSM & UMTS vergleichbar. Der dynamische Bereich ist allerdings im Uplink (TS 25.101; ca. 70 dB) insbesondere bei UMTS um viele Dekaden größer als im Downlink (TS 25.104; größer 18 dB; typischerweise ca. 30 dB).

Die aktuellen Basisstationen sind überwiegend für den Einsatz in großräumigen Zellen (Macro Cells) gebaut und optimiert worden. Dies betrifft insbesondere ihr Leistungsspektrum und die implementierte Leistungsregelung. Für den Einsatz in Hot Spots (Micro Cells) oder Innenbereicherschließung (Pico Cells) sind in Zukunft

¹⁰⁰ “Zellularer Mobilfunk mit Referenzmodell UMTS-FDD, 4.3.1. Bericht AP 6 Standardkonforme Entwicklungen beim Mobilfunk koordiniert von Prof. Fettweis, Technische Universität Dresden, 18.03.2003; S.34 in Wiesbeck et.al. miniWatt- Studie

¹⁰¹ Literatur: J. Laiho, A. Wacker, T. Novosad, “Radio Network Planning and Optimisation for UMTS”, John Wiley and Sons Ltd, 01/2002

H. Holma, A. Toskala, “WCDMA for UMTS”, 3rd Edition (2004), John Wiley and Sons Ltd

<http://www.umtsworld.com/technology/power.htm>

3GPP TS 25.101, 25.133, 25.214, 25.215, 25.331, 25.433, 25.435, 25.841, 25.849

Basisstationen gefordert, die bei deutlich reduzierter Maximalleistung eine breite Dynamik in der Leistungsregelung aufweisen.

Power control ist bei BCCH- Kanälen nach heutiger Spezifikation nicht anzuwenden.

Effekt – Strahlungsbelastung:

Die Nutzung von Leistungsregelungsmechanismen wirkt generell reduzierend auf die Strahlungsbelastung (im Vergleich zu Systemen ohne Leistungsregelung wie z.B. WLAN). Ein Einsatz der Leistungsregelung in GSM kann daher generell nur empfohlen werden. Eine Optimierung der Leistungsregelung ist einer der Schlüssel zur Senkung der Emission.

Die schnellere & effizientere Power Control von UMTS senkt die zur Übertragung einer vergleichbaren Datenmenge (z.B. Sprachservice) notwendige Transmissionsenergie typischerweise um 50% im Vergleich zu GSM.

Die schnelle & effiziente Leistungsregelung ohne Strahlungsspitzen (im Ggs. zu GSM) bei Transmissionsbeginn ist bei UMTS generell verpflichtend. Eine darüber hinausgehende Optimierungsmöglichkeit (im Bereich von ca. 1 dB) besteht bei UMTS in bestimmten Spezialfällen (Straßenabdeckung / Fahrzeuge mit höherer Geschwindigkeit) in der Nutzung verschiedener *power control* Algorithmen zur Kompensation geschwindigkeitsbedingter Probleme der Leistungsregelung.

Untersuchungen zum Regelungsverhalten des Endgerätes bestätigen diesen Effekt in der Größenordnung von mind. 1dB.¹⁰²

☹ keine

Effekt – Netzbetreiber (Qualität, Kosten, Kapazität):

☺ Leistungsregelung bedeutet in GSM vergleichsweise wenig Vor- oder Nachteil. (Kleine) Vorteile sind geringere Inter-Kanal Interferenzen und (minimal) geringerer Leistungsbedarf der Basisstationen. In UMTS ist hingegen eine effiziente Leistungsregelung ein Schlüssel zur Steigerung der Kapazität, d.h. ein wesentlicher / zentraler Vorteil für den Netzbetreiber.

☹ geringe Nachteile; gegebenenfalls bei GSM Kosten für die Software; Administrationsaufwand bei Optimierung der entsprechenden Power Control Parameter

Effekt – Teilnehmer (Qualität):

☺ Geringe Inter-Kanal Interferenzen bedeuten höhere Übertragungsqualität.

☹ keine

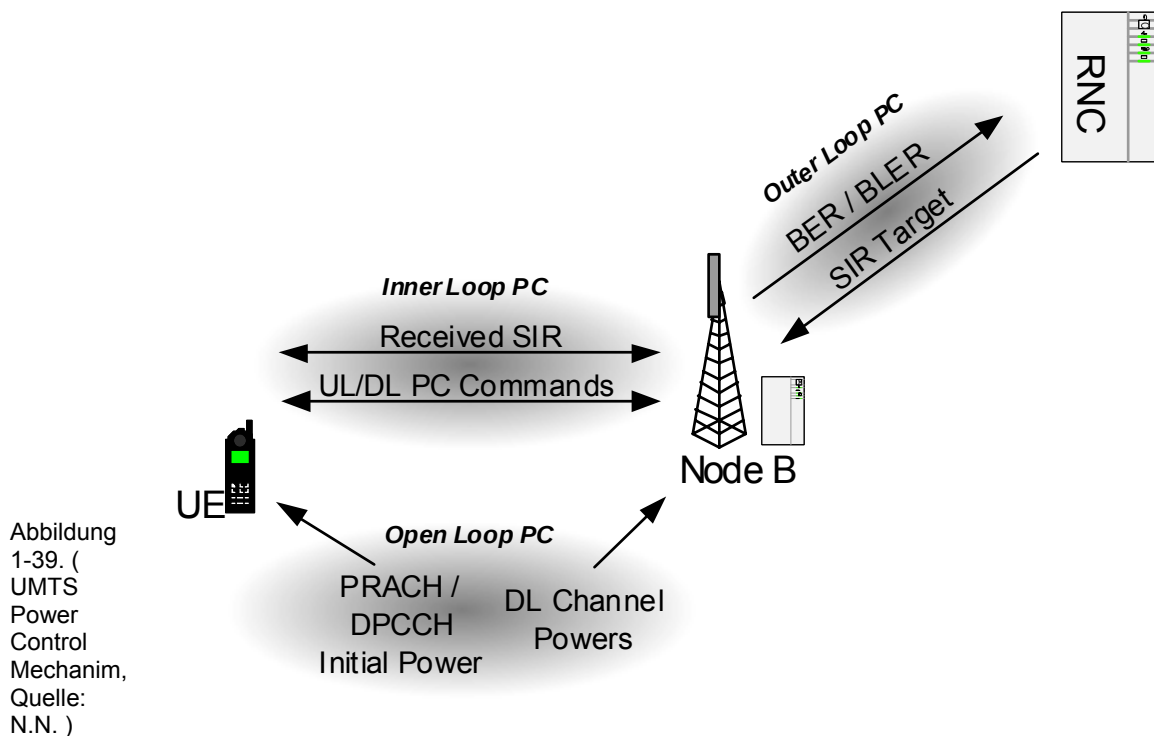
¹⁰²Wart, Dale, Bosisio, Le Cornec: Analysis of the influence of the power control and discontinuous transmission on RF exposure with GSM mobile phones, in IEEE Transactions on electromagnetic Compatibility, Vol. 42, No.4, November 2000, S.376 ff.

Verfügbarkeit:

einige Basisstationen für Micro Cells sind auch heute schon verfügbar; die Auswahl ist allerdings gering. Innenbereicherschließung spielte in GSM bislang quasi keine Rolle.

Probleme:

keine



Begrenzung der Ausgangsleistung aber auch Features wie Powercontrol/ DTX

8.2.6. Antenna Diversity

Aufgrund der Mehrwegeausbreitung im freien Feld, über Reflexionen und zeitverzögerte Beugungen empfängt eine Basisstation normalerweise von einem Mobiltelefon mehrere Signale auf unterschiedlichen Wegen, welche sich überlagern und ungefiltert zu einer Verschlechterung der Empfangsqualität führen. Andererseits kann man bei Verwendung mehrerer Empfangsantennen mittels einer Auswerteschaltung jeweils das bessere Empfangssignal auswählen, um einen Gewinn aus den unterschiedlichen Signalen zu ziehen.

Man unterscheidet zwischen Polarisations-Diversity und Raum-Diversity.

Polarisations-Diversity

Bei elektromagnetischen Wellen stehen die elektrischen und magnetischen Felder senkrecht aufeinander und breiten sich in diesen Richtungen geradlinig in den Raum aus. Dabei bezeichnet man als Polarisation die Schwingungsrichtung des elektrischen Feldes, wobei man zwischen linearer- und zirkularer Polarisation unterscheidet. Bei der zirkularen Polarisation läuft die Schwingungsrichtung in Kreisform um, während diese bei der linearen Polarisation feststeht. Hier

unterscheidet man grob zwischen horizontaler- und vertikaler Polarisierung. Durch Reflexionen auf dem Übertragungsweg kann das in eine Richtung polarisierte Sendesignal verdreht oder gekippt werden, so daß beim Empfänger Anteile mit verschiedener Polarisierung ankommen. Ein Handy als Sender wird während des Gesprächs nicht zwangsläufig senkrecht gehalten, sondern meist permanent bewegt und gekippt, so daß schon dessen Sendesignal nicht absolut stabil polarisiert ist. Ein Empfänger, der nur das in eine bestimmte Richtung polarisierte Empfangssignal ausnutzt, hat dadurch eine verringerte Empfangsleistung.

Raum-Diversity

Da beim Mehrwegeempfang die Überlagerungen stark ortsabhängig sind und in kleinen Distanzen sehr unterschiedliche Qualität (destruktive Interferenz bzw. Fast Fading) aufweisen können, kann man mit räumlich entfernten Empfangsantennen unterschiedlich gute Empfangssignale erhalten. Dies nutzt man beim Raum-Diversity, wo mehrere (normalerweise zwei) Antennen im Abstand der 10 ... 20 - fachen Wellenlänge, z.B. bei GSM 900 in ca. 4 bis 5 Meter Abstand in Hauptrichtung aufgebaut sind und beim Empfang das jeweils beste Empfangssignal ausgewählt wird.

Konzept:

- Nutzung mehrerer Empfangsantennen (Receive **Rx** Diversity) bzw. Sendeantennen (Transmit **Tx** Diversity) zur Reduzierung der Effekte der Interferenz¹⁰³, die beiden Antennen müssen keine räumliche Trennung aufweisen und können in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht sein.
- Beim Polarisations-Diversity nutzt man bei der Basisstation zwei Empfangsantennen mit senkrecht zueinander stehenden Polarisierungsebenen (= orthogonal polarisiert), wobei wie beim Raum-Diversity das jeweils bessere Signal ausgewählt wird.
- typischerweise werden heute in GSM und UMTS in normalen Macro Zellen 2 Empfangsantennen (2-branch Rx Diversity) und keine Tx Diversity gebraucht, da der uplink vom Endgerät zur Basisstation die kritische Komponente der Verbindung darstellt.

¹⁰³ Literatur: J. Laiho, A. Wacker, T. Novosad, "Radio Network Planning and Optimisation for UMTS", John Wiley and Sons Ltd, 01/2002
H. Holma, A. Toskala, "WCDMA for UMTS", 3rd Edition (2004), John Wiley and Sons Ltd

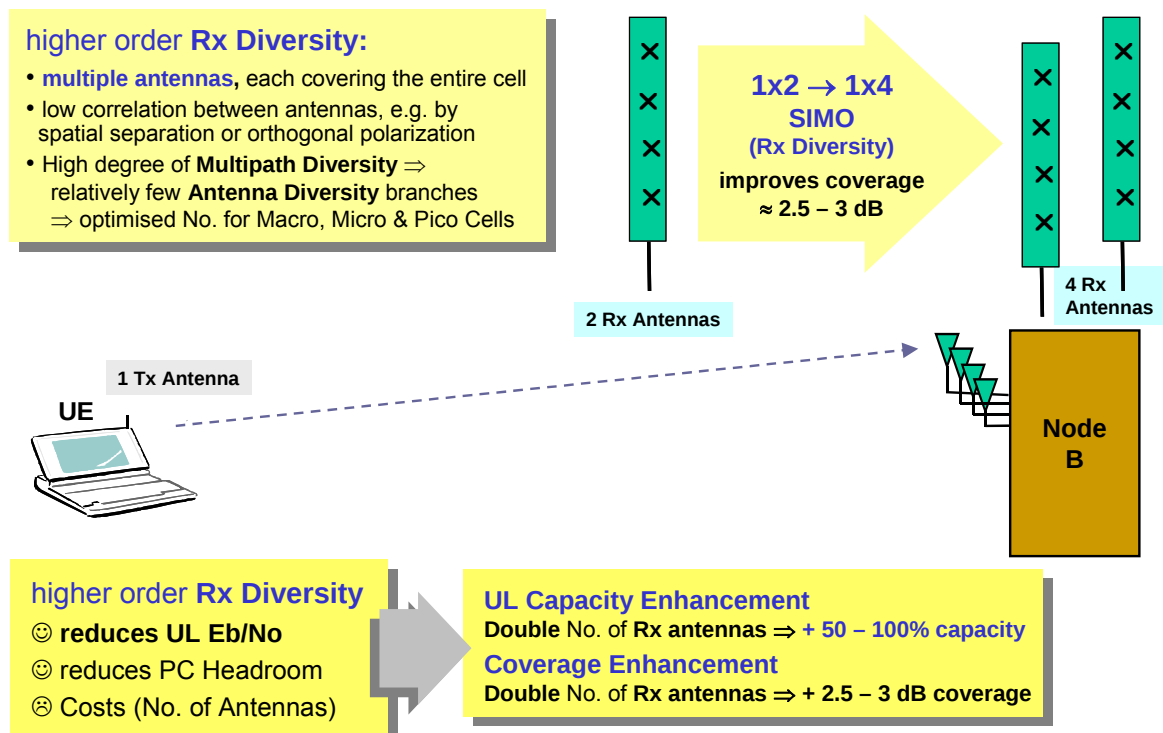


Abbildung 1-40. (Prinzip der Diversität, hier höhere Ordnung: UMTS und Empfangsantennen, Quelle: enorm-F.Hompf)

Effekt – Strahlungsbelastung:

☺ Insbesondere Rx Diversity senkt aufgrund niedrigerer benötigter Sendeenergie pro übertragenem Bit die Höhe der Immissionen deutlich.
Beispiel: Eine Erweiterung von 2 auf 4 Empfangsantennen (an der BTS) senkt die benötigte Sendeenergie typischerweise um 2.5 – 3 dB, was also eine Halbierung bedeutet.

Effekt – Netzbetreiber (Qualität, Kosten, Kapazität):

☺ Rx Diversity: Die Kapazität der Zelle wird durch Rx-Diversity erheblich gesteigert. Je nach Morphologie des Versorgungsgebietes ergeben sich +50-100% Kapazität durch eine Erweiterung von 2 auf 4 oder von 1 auf 2 Empfangsantennen.

☺ Tx Diversity: Die Kapazität der Zelle wird durch Tx Diversity erheblich gesteigert. Der Effekt liegt bei 2 statt 1 Sendeantenne bei ca. –25-40% für Makro bzw. ca. + 50-70 % bei Mikrozellen.

☺ Der zu erzielenden **Gewinn der Empfangsleistung ist ca. 4 - 6 dB** für Polarisierung und wiederum etwa 4 - 6 dB, also den Faktor 2,5 bis 4, für z.B. doppelte Empfangsantennen;

☹ Kosten sowie Platz für Antennen.

Aktuell (2 Empfangs- & 1 Sendeantenne) wird bei Verwendung kreuzpolarisierter Antennen (2 = 1) 1 Antenne benötigt, bei Erweiterung auf 4 Empfangsantennen (evtl. 2 Sendeantennen) werden hingegen 2 Antennen benötigt.

Ein direkter Kapazitätsgewinn ist mit der Maßnahme nicht verbunden, aber durchaus über die Effekte der besseren Übertragung erzielbar. Daher könnten zumindest kreuzpolarisierte Antennen heute schon in Gebrauch sein.

Effekt – Teilnehmer (Qualität):

☺ Die Übertragungsqualität des Teilnehmers ist deutlich stabiler. Es kommt seltener zu problematischen Qualitätsschwankungen.

Verfügbarkeit:

direkt verfügbar

Nach anfänglicher Verwendung von vertikal polarisierten Antennen werden mittlerweile meistens sogenannte kreuzpolarisierte Antennen verwendet, die horizontal und vertikal polarisierte Felder senden und empfangen können. Diese Art des Antennen-Diversity ist wegen des einfacheren Aufbaus die normalerweise bevorzugte Variante, zumindest bei der Verwendung von Sektorantennen.

Probleme:

- Platz: statt schlanker Zentralmasten, sind verteilt mehrere Masten auf Dächern aufzustellen, z.B. drei Stahlrohre als gleichseitiges Dreieck von 5 Meter Kantenlänge, alternativ sind bei Masten große Bühnen bei horizontalem Abstand oder entsprechende Aufsatzverlängerungen für vertikale Trennung zu errichten
- Kosten für größere Stahlkonstruktion und längere HF- Kabelverbindungen
- negative Auswirkungen auf das Orts- und Landschaftsbild

8.2.7. Repeater- Konzepte und deren Einsatzmöglichkeiten

Neben den beschriebenen aktiven Elementen gibt es auch den denkbaren Einsatz von passiven Repeatern nach dem Induktionsprinzip. Solche als beidseitig aufzubringenden Klebefolien wurden verteilt beim Netzstart eines E-Netzbetreibers 1996/7 als Ausgleich für die anfangs schlechte Versorgung, aufgrund zu weniger Standorte. Da sie kaum messbare Verbesserungen erreichen und die Planungsansätze fast immer von einer Überwindung einer ungünstigeren Gebäudedämpfung als dem Einfamilienwohnhaus ausgehen, werden diese hier nicht weiter behandelt.

GSM/UMTS - Repeater

Bei der Repeater- Technologie wird ein existierendes Funksignal aufgefangen, verstärkt und anschließend auf derselben oder einer anderen Frequenz wieder emittiert¹⁰⁴.

¹⁰⁴ Literatur: AVITEC, www.avitec.se; GSM existing road to the future
Jaana Laiho, Achim Wacker, Tomas Novosad: Radio Network Planning and Optimisation for UMTS, John Wiley
2002 chapter 7.13
SIFAX AG, Pressemitteilung

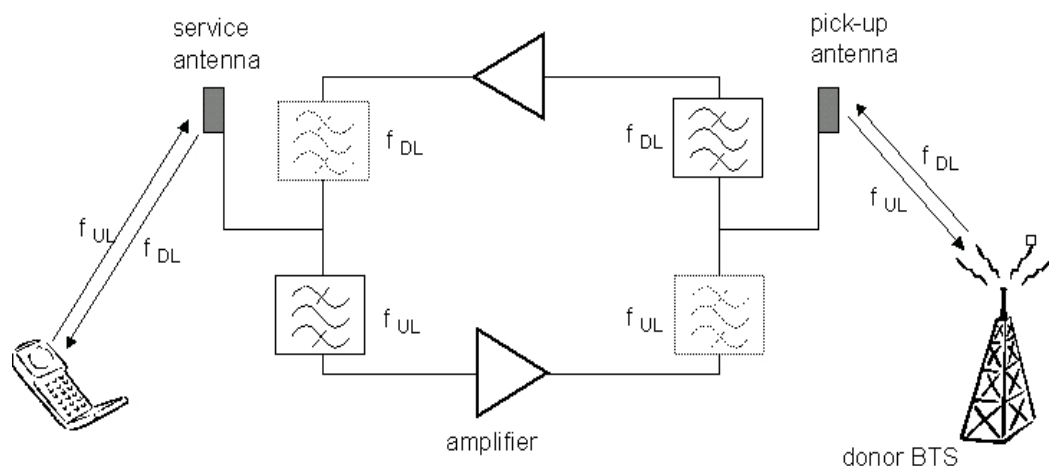


Abbildung 1-41. (Schema Wirkprinzip Repeater, Quelle: enorm- F.Hompf)

Erhöhung der Abdeckung bei schwierigem Gelände und Funklöchern (keine line of sight / Tunnel etc.)

Erhöhung der Reichweite aufgrund der zusätzlichen Verstärkung des Signals
höhere Kapazität bei gleichbleibender Anzahl der Sites bzw. geringere Anzahl der Sites bei gleichbleibender Kapazität (bei GSM, bei UMTS meist leichte Erniedrigung der Kapazität)

ermöglicht Indoor-Versorgung bei schwachem Aussenpegel

Effekt – Immission:

Dadurch, dass schwierig abzudeckende Gebiete nicht mehr durch eine hohe Antennenleistung erreicht werden muss, kann die Immission durch die BS signifikant reduziert werden. Auch können z.B. größere Bürogebäude mit hohen Abschirmwerten über einen Repeater versorgt werden ohne den Außenpegel zu erhöhen.

Die Leistung des Handys kann in von Repeater versorgten Gebieten/Räumen durch die Nähe zur Antenne niedrig gehalten werden. Die Emission so minimiert werden. Dies gilt insbesondere bei der Verwendung von Leckkabeln als Antennen.

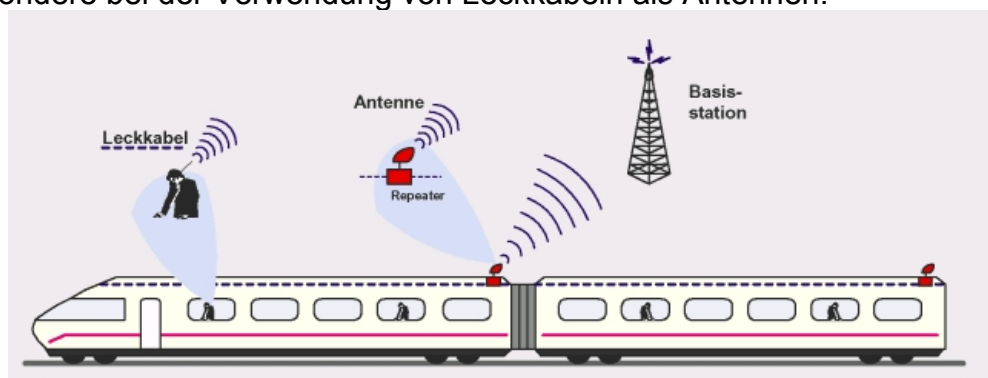


Abbildung 1-42. (Prinzip eines Repeaters in einem stark geschirmten Zug, hier einem ICE, Quelle: enorm- F.Hompf)

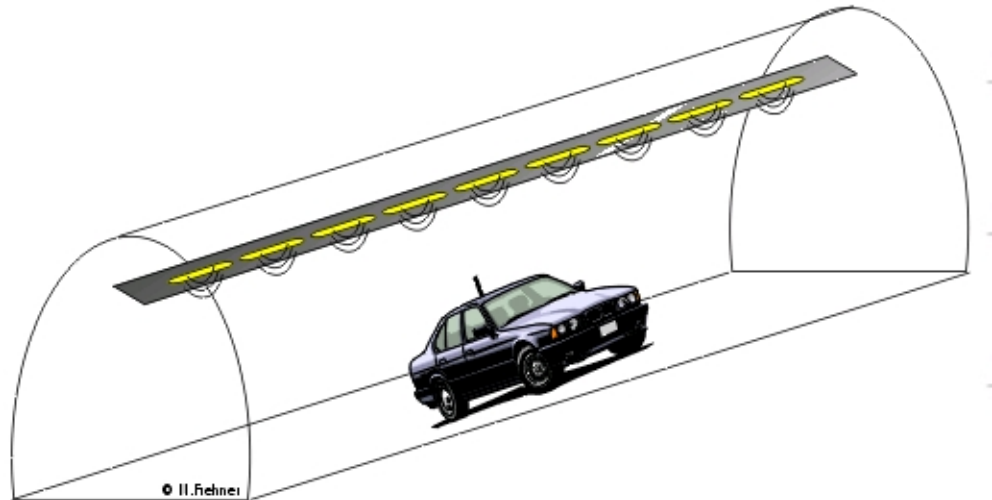


Abbildung 1-43. (Prinzip eines leaking cables, hier in einem Autotunnel, Quelle: enorm- F.Hompe)

Effekt – Netzbetreiber (Qualität, Kosten, Kapazität):

- ☺ Repeater sind billig, schnell und ohne Genehmigung zu installieren.
- ☺ Es werden Interferenz und Multipfadeffekte minimiert.
- ☺ Bisher nicht abgedeckte Bereiche können erschlossen werden (Züge/ Tunnel/ Funklöcher)
- ☺ Stabile Indoorversorgung mit hohen Datenraten bei UMTS
- ☹ Die maximale Reichweite einer Zelle wird etwas kleiner, da ein Repeater eine Verzögerung im Signalweg bedeutet.
- ☹ Durch das analoge Verstärkerverhalten bei UMTS kommt es auch zur Verstärkung von Störungen und damit zu einer Verschlechterung des Eb/No (Signal-Rauschverhältnis). Damit kann die Kapazität der Zelle in UMTS leicht erniedrigt werden.

Effekt – Teilnehmer (Qualität):

- ☺ Der Teilnehmer erfährt in der Regel eine Verbesserung der Qualität der Übertragung.
- ☺ Der Teilnehmer erfährt eine niedrigere Immission durch seine eigene Mobilstation.

Verfügbarkeit:

Sofort gegeben

Probleme:

Zellgröße bei GSM

Kapazität bei UMTS

8.2.8. UHS- UltraHighSite Konzept, Patent E-Plus

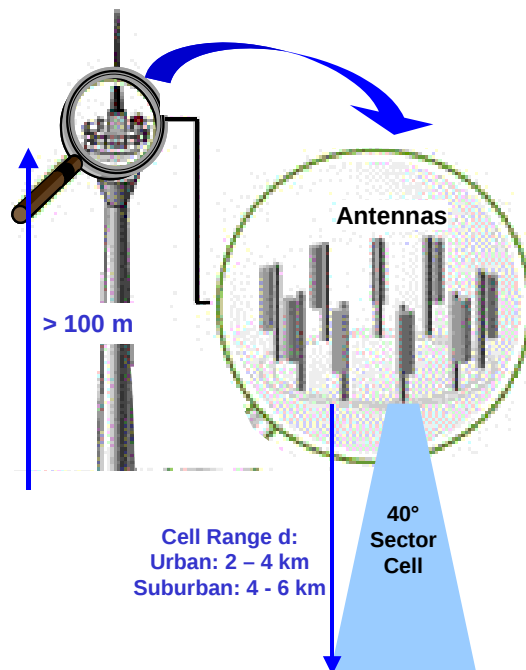
Spezialfall der Sektorisierung; von E-Plus¹⁰⁵ eingeführt.

Patentgeber: eplus Nürnberg 2003

¹⁰⁵ siehe E-Plus Presseinformation 09/2004, auch download unter <http://www.eplus-unternehmen.de>

Konzept:

Spezialfall der Sektorisierung mit sehr schmalen Sektorzellen, d.h. einer sehr großen Anzahl an Zellen, die von einer Site versorgt werden
sehr hoher, zentral gelegener Sendestandort (z.B. Fernsehturm), von dem aus mit sehr hoher Reichweite (hoher Antenna Gain) ein vergleichsweise großes Gebiet versorgt wird



UHS concept*:

- **Sites taller than 100 m:**
⇒ reduced BPL & Log-Normal Fading Margin (often LOS)
- **3 → 9 sectored cells (40° Sector):**
⇒ more than 3 dB Antenna gain
⇒ **1(9 sectored) UHS replaces typically 8 conventional UMTS Sites**
- **some UHS at > 200 m; with 5° sectors**
⇒ ≈ 10 dB Antenna gain
⇒ **1UHS replaces up to 40 conventional UMTS Sites**
- **Problem: Capacity / SHO Overhead ??**

*Press-Information: E-Plus 09/2004

Abbildung 1-44. (Schemadarstellung UHS, Quelle eplus)

typischerweise soll eine UHS- Site 6 bis 8 konventionelle UMTS Sites ersetzen, in einigen Extremfällen (hohe, zentrale Fernsehtürme) bis zu 40 konventionelle Sites die Anzahl der benötigten Sites zur Bereitstellung des von der Regulierungsbehörde geforderten Versorgungsgebietes wird signifikant reduziert. Statt 1500 Sites sollen im ersten UMTS Roll- Out bis Ende 2005 lediglich 200 Sites ausreichen um 50% der Bevölkerung in Deutschland versorgen zu können.

Effekt – Strahlungsbelastung:

siehe Sektorisierung

- ☹ etwas höhere Immission für den einzelnen Nutzer
- ☺ wesentlich niedrigere Immission für die Gesamtbevölkerung

Effekt – Netzbetreiber (Qualität, Kosten, Kapazität):

- ☺ Reduzierung der Anzahl der Sites und somit der Kosten (nach E-Plus Angaben 200 Sites statt 1500 Sites sowie 60 Millionen € Einsparungen)
- ☺ Geringerer politischer Widerstand bei dem Roll- Out Prozeß / Auswahl & Inbetriebnahme der Sites
- ☹ die mit UHS- Sites erzielte Kapazität wird aller Voraussicht nach nur für die Anlaufphase von UMTS (geringe Anzahl an UMTS Teilnehmern, geringes Datenaufkommen) ausreichen. Eine erweiterte Netzplanung wird notwendig werden.

Die notwendige Kapazitätssteigerung könnten z.B. mittels des HCS- Konzepts durch Micro- & Pico- Zellen (siehe Stichwort HCS) erfolgen.

☹ E-Plus Konkurrenten vermuten eine schlechte Indoor- Versorgung im Rahmen des UHS- Konzepts. Dieser Kritikpunkt muss untersucht werden, da dies eine wesentliche Qualitätsverschlechterung für die Teilnehmer bedeuten würde.

Effekt – Teilnehmer (Qualität):

- ☺ Der Teilnehmer erfährt in der Regel keine Änderung der Qualität der Übertragung.
- ☹ Die Innenversorgung könnte eventuell in Randlagen des Versorgungsgebietes zu schwach ausfallen.
- ☹ Der Teilnehmer erfährt im Mittel eine höhere Immission durch seine eigene Mobilstation.

Verfügbarkeit:

Sofort gegeben

Probleme:

evtl. Kapazitätsprobleme / keine freiverfügbaren Erfahrungen.

Präsentation auf dem Kongress der Baubiologen vdb¹⁰⁶ vom 14.+15.4.2004 von Dr. Menzel, Fa. eplus- Düsseldorf.

Da sich laut Auskunft der Firma das Konzept bereits in der Praxis von UMTS bewährt habe, soll hier im Teil 2 Kapitel 4.4 ein entsprechender Ansatz verfolgt und in der Anwendung theoretisch überprüft werden.

Als ein Spezialfall hochliegender Sender seien hier der Vollständigkeit halber genannt: **HAPS** High Altitude Platform Station (Plattform für Sender in größer Höhe) „Mit High Altitude Platforms, z.B. Ballonen oder Seglern, könnten flächige Gebiete in der Größenordnung von Städten oder Teilen daraus mit gleichmäßiger Leistungsdichte für die Kommunikation versorgt werden. Die Reduzierung der Exposition würde hierbei sehr hoch sein.“¹⁰⁷ Es gibt allerdings Probleme die Anlagen dauerhaft und stationär in großer Höhe zu betreiben und zu unterhalten.

8.3. Kategorie B: Entwicklungen

Gemäss der aufgestellten Klassifikation sind weitere Maßnahmen in der technischen Entwicklung verfügbar, bzw. harren des Markteinsatzes.

8.3.1. Einsatz von Modulationsverfahren zur Kapazitätssteigerung

EDGE: Enhanced Data Rates for the GSM Evolution

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access

¹⁰⁶ Siehe auch www.baubiologie.net, dort können auch die Tagungsbände vergangener Veranstaltungen und z.B. die Veröffentlichungen zu verbandseigenen Standards, z.B. zur Messtechnik bestellt werden

¹⁰⁷ Wiesbeck et.al.; a.a.O. miniWatt-Studie, S.20 o.

Konzept:

- Erhöhung der Ressourceneffizienz (Bit per Hertz Bandbreite) durch adaptive Nutzung hochwertiger Modulationsverfahren¹⁰⁸.
Genutzt werden in Anpassung an die vorhandene Qualität der Funkschnittstelle bei EDGE: 8PSK oder GMSK, d.h. 3-Bit oder 1-Bit Verschlüsselung; bei HSDPA: 16QAM / QPSK, d.h. 4-Bit oder 2-Bit Verschlüsselung.
- Nutzung effizienter Fehlerkorrekturverfahren (Incremental Redundancy)
- Nutzung adaptiver Kodierung, die nur soviel Redundanz zur reinen Nutzdatenübertragung hinzufügt wie die aktuelle Qualität der Funkschnittstelle es erfordert. Dies führt zu einer deutlich höheren mittleren Datenrate.

Effekt – Strahlungsbelastung:

- ☺ Die Transmissionsdauer einer bestimmten Datenmenge wird erheblich gesenkt. Dies kann zur Hebung des Datendurchsatzes genutzt werden. Bei gleichbleibendem Datenvolumen bedeutet es aber auch gleichzeitig eine Senkung der Emission.
- ☹ keine

Effekt – Netzbetreiber (Qualität, Kosten, Kapazität):

☺ Die Kapazität einer GSM- bzw. UMTS- Site wird durch Anwendung von EDGE bzw. HSDPA erheblich gesteigert. Quantitativ ist diese Steigerung im erheblichen Maße von der Größe der Zelle sowie der Morphologie der Landschaft abhängig. Es bestehen ebenfalls weitreichende Unterschiede hinsichtlich der Effizienzsteigerung von EDGE und HSDPA. Bei großflächigen Zellen (Macro Zellen; einige 100 m bis zu vielen km) beträgt die Steigerung einige 10%. Bei räumlich begrenzten Zellen (maximal einige 100 m) zur Versorgung von Hot Spots (Micro Zellen) beträgt die Steigerung typischerweise 100-200%. Im günstigsten Fall (Micro- oder Pico-Zellen sowie direkte Sichtlinie zwischen Basisstation & Mobilstation, sogenannte „Line-of-Sight LOS“) kann die Kapazität um mehr als 400% steigen.

- ☺ HSDPA steigert die Dienste Qualität (effizientere & schnellere Fehlerkorrektur)
- ☹ Kosten für die Software- & Hardware-Aufrüstung der Basisstationen/Node B's und RNC's/BSC's

Effekt – Teilnehmer (Qualität):

- ☺ Der Teilnehmer erfährt eine Steigerung der Service Qualität, da sich das Herabladen von Daten signifikant beschleunigt.
- ☹ Der Teilnehmer benötigt neues, EDGE- bzw. HSDPA- fähiges Mobilfunkequipment.

Verfügbarkeit:

EDGE: heute verfügbar; HSDPA: ab Ende 2005 / Anfang 2006

¹⁰⁸ Literatur: 3GPP, TS 25.308

H. Holma & A. Toskala, WCDMA for UMTS, 3rd edition, Wiley, 2004

T.E. Kolding et al., IEEE VTS 02/2003

P. Rysavy, 3G Americas, Whitepaper: "Data Capabilities: GPRS to HSDPA", 09/2004

Probleme:

keine

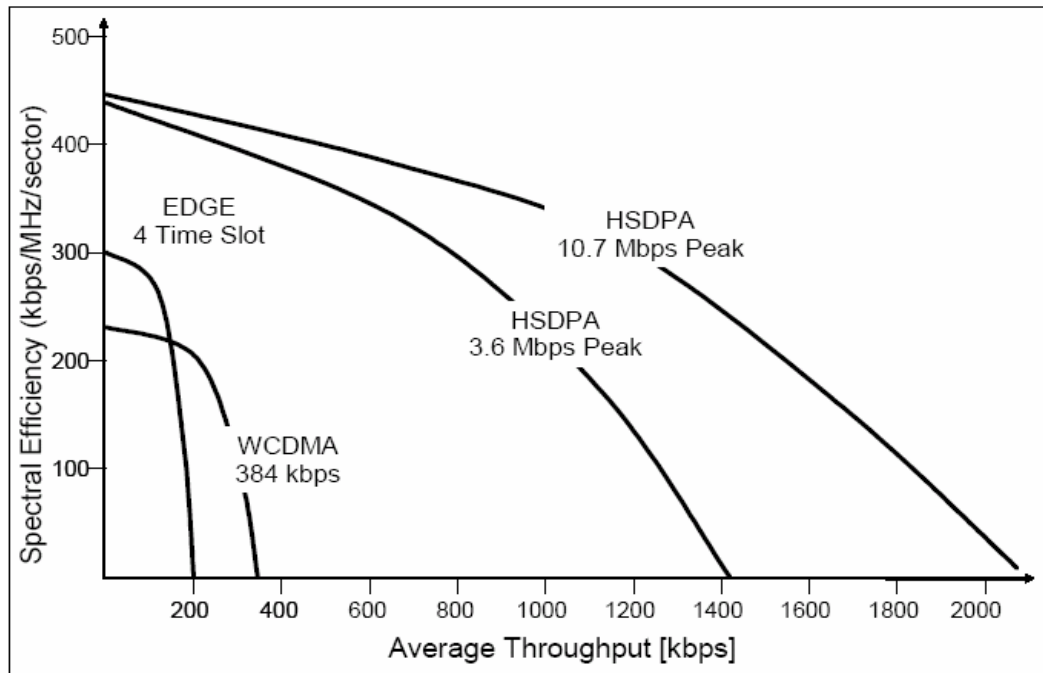


Abbildung 1-45. (Zusammenhang Spektrumsnutzung zu Datendurchsatz bei verschiedenen Verfahren, Quelle: enorm- F.Hompf)

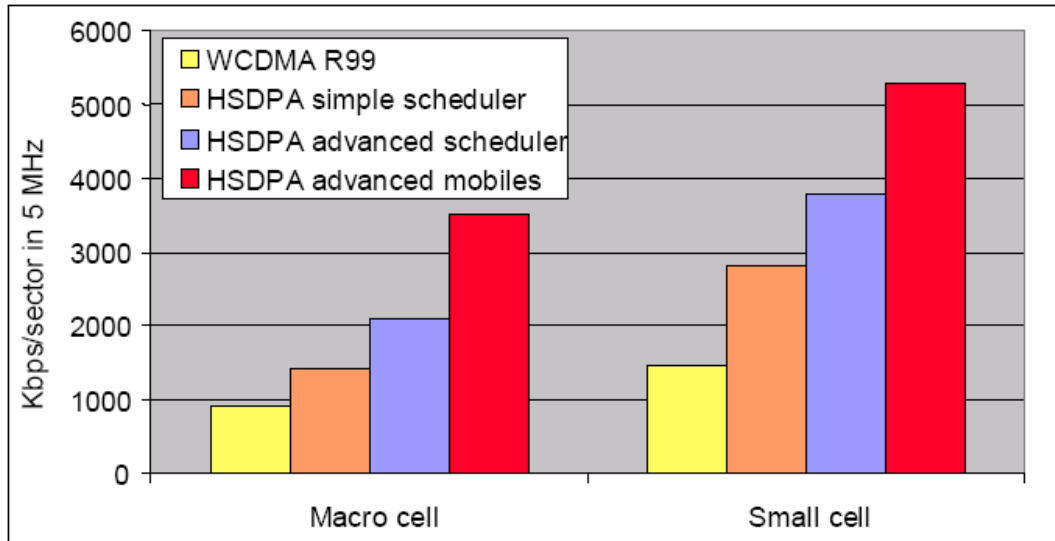


Abbildung 1-46. (Zusammenhang Datendurchsatz/ Sektor bei verschiedenen Verfahren, Quelle: enorm- F.Hompf)

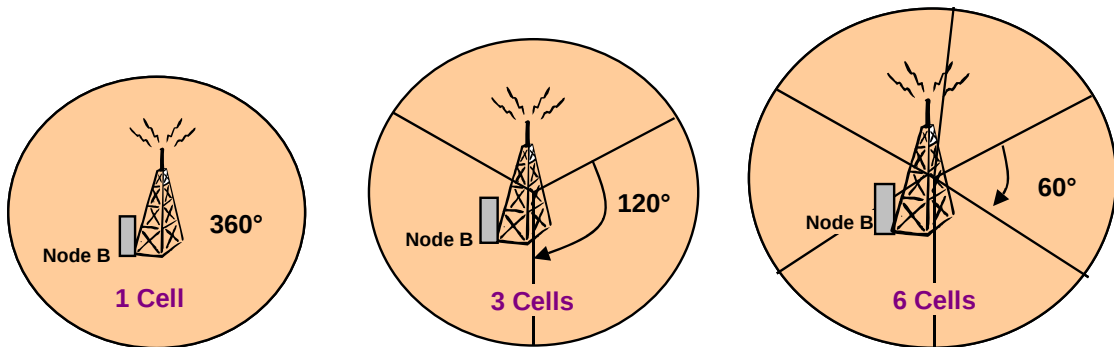
8.3.2. Antennenkonzepte (z.B. Smart Antennas, Beam forming,...)

a) Sektorisierung:

Prinzip: Übergang von Omni- nach 3-Sektorzelle (heute) über 6- Sektoren (heutiger Trend) bis zu vielfachen Sektoren (letztlich gesteigert im Ultra-High Site Konzept von E-Plus).

Konzept:

Erhöhung der Anzahl der Sektoren als Zellen, die von einem Standort (Site) versorgt werden
höhere Reichweite aufgrund gesteigerten Antenna Gains (Antennengewinn)
höhere Kapazität bei gleichbleibender Anzahl der Sites bzw. geringere Anzahl der Sites bei gleichbleibender Kapazität



Gain of Directional/Sector Antennas

General Rule: $\frac{1}{2}$ Antenna HBW $\Rightarrow$

- ☺ **Enhanced Coverage:** Antenna Gain increases $\approx +2$ dB
- ☺ **Enhanced Capacity:** double number of carrier $\Rightarrow \approx +80\%$ Capacity
(not 100% due to increased inter-cell interference & SHO overhead)
- ☹ Sectorised antennas do not overcome the major disadvantages of standard omni-directional antennas, e.g. **Inter- & Intra-Cell interference**
- ☹ Sector Antennas $\neq$ Intelligent Antennas

HBW: Half Beam Width

Abbildung 1-47. (Prinzip der Sektorisierung, hier bei UMTS, Quelle: enorm- F.Hompf)

Effekt – Strahlungsbelastung:

Aufgrund des größeren durchschnittlichen Abstands der Bevölkerung von der Basisstation (BS) / Site reduziert sich die durchschnittliche Downlink (DL) Empfangsleistung bzw. die Immission am Ort der Personen deutlich.

☹ Andererseits können durch den höheren Antennengewinn einzelner Sektoren sich höhere Leistungen auch weiter entfernt von der Basisstation einstellen. Aufgrund des größeren durchschnittlichen Abstands des Nutzers steigt die benötigte Sendeleistung der Mobilstation (MS) signifikant an. Die Immission für den Nutzer steigt. Dieser Effekt wirkt sich generell bei GSM & UMTS aus. Bei UMTS ist er aufgrund der schnellen und weitreichenden Power Control (Leistungsregelung) deutlich stärker ausgeprägt.

Effekt – Netzbetreiber (Qualität, Kosten, Kapazität):

☺ Die Kapazität einer Site wird durch Sektorisierung sowohl bei GSM als auch UMTS deutlich gesteigert. Bei UMTS beträgt die Kapazitätssteigerung bei Halbierung des Sektorwinkels ca. 70-80%.

☺ Die Reichweite einer Zelle wird ebenfalls aufgrund des größeren Antennengewinns gesteigert und somit die Anzahl der Sites reduziert. Weniger Sites

bedeutet weniger Kosten. Eine Halbierung des Sektorwinkels (bzw. Half Beam Width HBW) bedeutet eine Steigerung des Antennengewinns um 2 dB. Eine Steigerung des Antennengewinns um 2 dB bedeutet eine Reduzierung der Anzahl der Sites um ca. 23% (berechnet mit Cost-Hata Ausbreitungsmodell).

☹ Aufgrund der großen Anzahl an Zellen, welche von einer Site aus versorgt werden müssen, ergibt sich eine große Anzahl an benötigten Antennen. Diese unschöne Ballung von Antennen verursacht räumliche Probleme (Unterbringung) und kann optisch äußerst unschön wirken.

Effekt – Teilnehmer (Qualität):

☺ Der Teilnehmer erfährt in der Regel keine Änderung der Qualität der Übertragung.
 ☹ Der Teilnehmer erfährt im Mittel eine höhere Immission durch seine eigene Mobilstation.

Verfügbarkeit:
 Sofort gegeben

Probleme:

Unebenes Terrain sowie dessen Ausleuchtung (in quer zur Ausstrahlungsrichtung liegenden Tälern, Straßenschluchten, etc. Diese Probleme können durch Repeater oder Microzellenausleuchtung kompensiert werden.

In UMTS ergibt sich eine hohe Anzahl von Mobilstationen, die von 2 Zellen gleichzeitig versorgt werden müssen (Soft Handover). Dies reduziert die Kapazität deutlich unter die ansonsten zu erwartende 100% Kapazitätssteigerung bei Halbierung des Sektorwinkels.

8.3.3. Beam Forming:

Konzept:

Die Teilnehmer einer Zelle werden von einzelnen, schmalen Beams (geringer Sektorwinkel) versorgt. Man unterscheidet hierbei **Fixed Beam-forming Antennas** mit einer festen, gerichteten Ausstrahlung und **Adaptive Beam-forming Antennas**, die auf einen einzelnen Nutzer dynamisch gerichtet und elektronisch nachgeführt werden können¹⁰⁹. Aufgrund der Charakteristika heisst diese Technologie auch SDMA, von **Space Division Multiple Access**.

- Beam-forming bietet höhere Kapazität aufgrund geringerer Interferenz der Teilnehmer einer Zelle (Intra-Cell Interference) sowie geringerer Interferenz zu anderen Zellen (Inter-Cell Interference)

¹⁰⁹ Literatur: ITU-R WP 8F Report „Technology Trends“, Document 8/2-E, Annex 4
 J. Litva. „Digital Beam forming in Wireless Communications“, Artech House, 1996.

J Laiho et al, „Radio Network Planning and Optimisation for UMTS“, Wiley, 2002.

A. Dekorsy, M. Schacht, P. Jung, „On capacity and emission improvements by smart antennas in mixed traffic UMTS networks“, IEEE ISSPIT03, Darmstadt 2003

PhD thesis, T. Weingartner, „Smart Antenna Strategies for the UMTS FDD Downlink“, TU Wien, 2003

M. Schacht, A. Dekorsy, P. Jung, „System Capacity from UMTS Smart Antenna Concepts“, IEEE Vehicular Technology Conference, Orlando, 10/2003

- Ein gesteigerter Antennengewinn (Antenna Gain bei 8 Beams: ca. 9 dB) bewirkt eine höhere Reichweite des Beams.

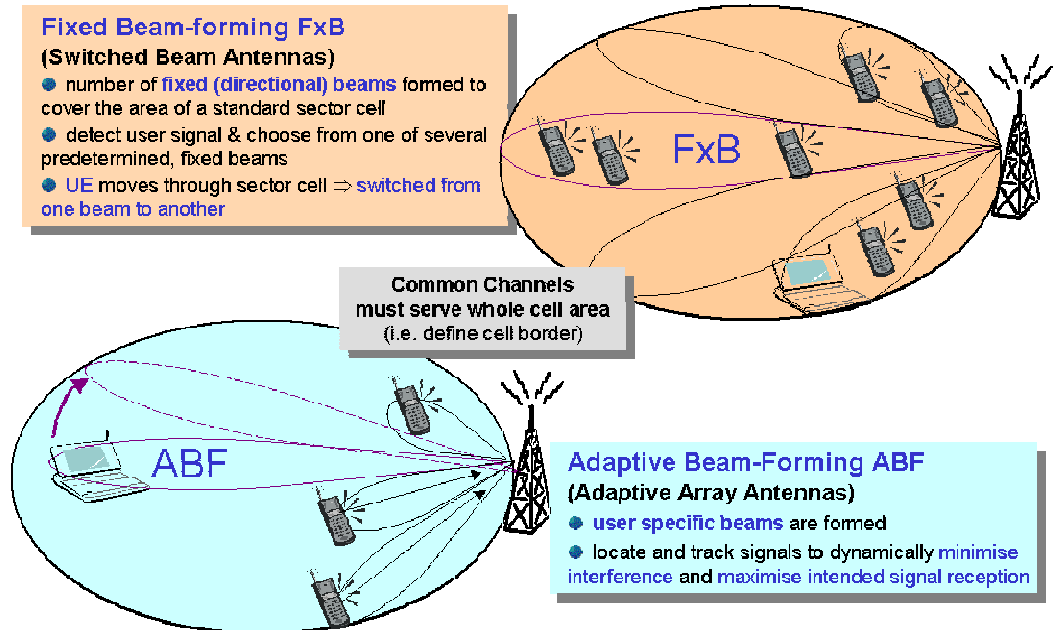


Abbildung 1-48. (Unterschiede von Keulenbildungen, Quelle: enorm- F.Hompe)

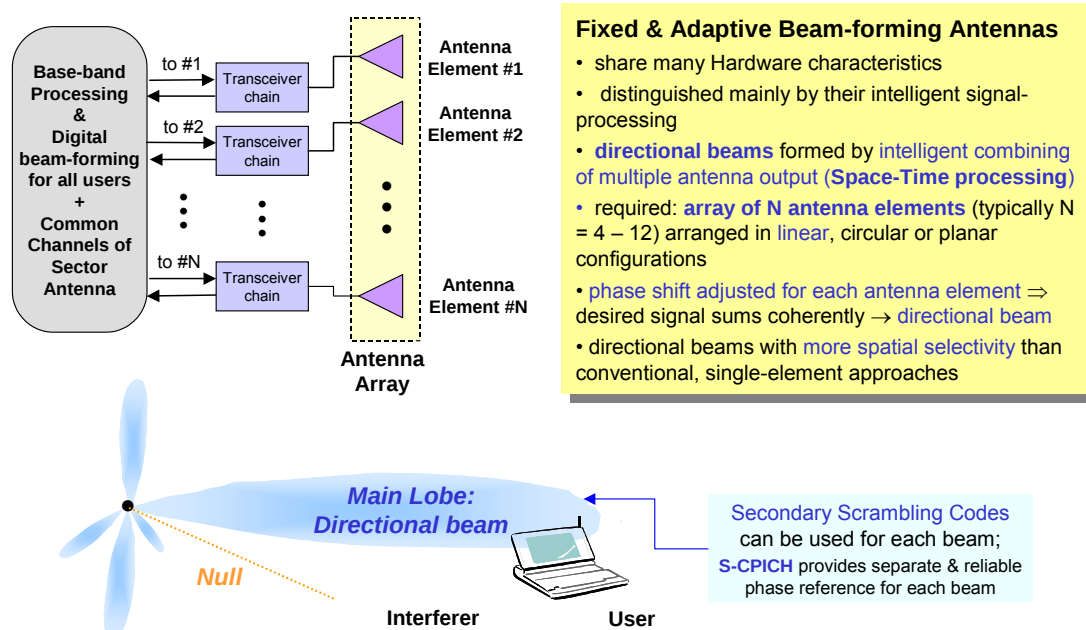


Abbildung 1-49. (Softwareprozesse bei Beam- Forming Antennas, Quelle: enorm- F.Hompe)

Effekt – Strahlungsbelastung:

☺ Beam-forming steigert einerseits die Kapazität einer Zelle, andererseits wird durch die Reduzierung des Interferenzniveaus auch die Immission in den nicht ausgeleuchteten Gebieten um Größenordnungen reduziert.

☺ Ein ausgerichtetes Aussenden bzw. Empfangen der Teilnehmerdaten bewirkt generell niedrigere Emissionen. Die benötigte Sendeenergie der Basisstationen sinkt typischerweise um 2 dB (ca. 40%).

☹ für einen Teil der (halb-) dynamischen Systeme ist die Technologie nur für die Lastkanäle, nicht aber für den BCCH anwendbar;

Effekt – Netzbetreiber (Qualität, Kosten, Kapazität):

☺ Die Kapazität einer Zelle wird deutlich gesteigert (bei 4-8 Beams um ca. 200-400%).

☺ Die Anzahl der Sites wird reduziert (im günstigsten Fall auf 30% bei 8 Beams). Dies reduziert die Kosten des Netzbetreibers für Standorte und Hardware.

☹ Die für Beam-forming erforderlichen Array Antennen sind vergleichsweise neu & teuer.

☺ Array Antennen können in einer einzelnen Antennenkuppel (Radome) untergebracht werden.

Effekt – Teilnehmer (Qualität):

☺ Höhere Datenraten bzw. kürzere Download Zeiten werden möglich.

☺ Die Sendezeiten verlängern sich aufgrund des geringeren Bedarfs an Sendeenergie.

Verfügbarkeit:

Array Antennen sind sofort verfügbar.

Probleme:

Neben der physikalischen Präzision dürfte ein großer Aufwand in den komplexen Rechenleistungen für die Steuerung der Signale liegen. Die hohe Dynamik der Felder dürfte bei der Feststellung von Feldstärken durch Messungen zu den sonstigen Schwankungen weitere Unsicherheiten beitragen;

8.3.4. Trennung von Empfangs- und Sendeantennen in Baugebieten:

Konzept:

Während die Empfangsantennen nahe den Endgeräten und in den Siedlungsgebieten angeordnet sind, werden die Sendeantennen außerhalb in einiger Entfernung errichtet; Zur Verbindung der Sende- und Empfangsantennen sind längere Kabelverbindungen notwendig.

- Durch die nahe Anordnung der Empfangsantennen wird die Schwachstelle des Linkbudgets, nämlich die Sendeleistung des Endgerätes überwunden. Damit wird der Benutzer geringeren Emissionen ausgesetzt und die Batteriekapazität des Handys geschont
- Zugleich werden die starken Sendeleistungen der Basisstationen in einiger Entfernung von den schützenswerten Personen, z.B. den Schlafstätten gehalten, damit reduziert sich die Immissionsbelastung durch die Basisstationen für die Wohnbevölkerung.

Effekt – Strahlungsbelastung:

- ☺ Die Belastung durch die Sendeantennen der Stationen nimmt mit der Entfernung ab
- ☺ Die Belastung durch die Telefone selbst bleibt oder wird gering
- ☹ Die Sendeleistungen der entfernten Sendeantennen werden als Emissionen zunehmen;

Effekt – Netzbetreiber (Qualität, Kosten, Kapazität):

- ☺ kaum positive Effekte, ggf. eine bessere Abdeckung in Teilen.
- ☹ Die Steuerungen und Leistungsregelung der Endgeräte nach Spezifikation ETSI 05.08. kann nicht wie definiert als vorgegebener Standard fortgeführt werden
- ☹ Die längeren Kabelverbindungen führen zu erheblichen Mehrkosten.
- ☹ Es müssen nicht nur gemeinsame Standorte akquiriert werden, sondern jeweils ein Standort für Sender und Empfänger, im Mittel dürften doppelt so viele Standorte im Netz benötigt werden

Effekt – Teilnehmer (Qualität):

- ☺ längere Batterie- Standby Zeiten von Endgeräten
- ☺ Aufgrund der entfernten Sendeantennen könnte es zu fehlenden Innenraumversorgungen kommen.

Verfügbarkeit:

Antennen und Hardware sind sofort verfügbar, die Steuerung und Leistungsregelung ist heute noch nicht im Standard implementiert .

Probleme:

Neben der physikalischen Präzision dürfte ein großer Aufwand in den komplexen Rechenleistungen für die Steuerung der Signale liegen. Die hohe Dynamik der Felder dürfte bei der Feststellung von Feldstärken durch Messungen zu den sonstigen Schwankungen weitere Unsicherheiten beitragen;
Es dürfte insgesamt leichter sein, mit Repeatern und Außenantennen einen ähnlichen Effekt ohne die Trennung zu erreichen.

8.4. Kategorie C: Zukunft

Gemäss der aufgestellten Klassifikation sind aufgrund physikalischer Grundlagen weitere Maßnahmen denkbar, in Entwicklung oder für die Entwicklung vorgesehen, die auch positive Effekte für den Immissionsschutz nach sich ziehen könnten.

8.4.1. MIMO: Multiple-Input Multiple-Output

Eine derzeit vehement beworbene Technik trägt das Etikett MIMO (Multiple Input, Multiple Output). Sie soll mit mehreren Antennen die Datenrate hochtreiben. MIMO ist jedoch ein unscharfer Name, der wegen seiner Griffigkeit für eine Vielzahl von Konzepten herhalten muss. Nach einer recht losen Definition könnte man auch ältere WLAN- Produkte schon als MIMO bezeichnen, die schlicht beim Senden und Empfangen zwischen zwei Antennen umschalten (Diversity). Das können sogar

Geräte, bei denen man außen nur eine Antenne erkennt, weil sie eine zweite als Blechstreifen im Gehäuse verstecken.

MIMO verbessert die Funkverbindung zwischen Basisstation und Mobilgerät auf zweierlei Weise. Einerseits liefern mehrere Antennen als Gruppe ein stärkeres Empfangssignal, was größere Distanzen oder dank besseren Empfangs mehr Durchsatz bei gleicher Reichweite bringt. Mit zusätzlicher Elektronik kann die Antennengruppe eine Richtwirkung entwickeln und so die Gegenstelle besser "hören" oder Störer ausblenden (Spatial Diversity). Andererseits liefern mehrere "Ohren" dem Empfänger zusätzlich eine räumliche Information. Das kann MIMO zur Steigerung der Übertragungsrate ausnutzen (Spatial Multiplexing). Dass zwei Antennen besser empfangen als eine, kann man leicht am eigenen Körper feststellen. Hält man sich ein Ohr zu, verändert sich das Klangbild drastisch. Auch die Richtungsorientierung wird schwerer.

Zwar unterscheidet sich die MIMO- Technik deutlich von der herkömmlichen Funkübertragung, dennoch lässt sie sich mit den gleichen Methoden planen, denn auch bei ihr ist die Streckendämpfung (abfallende Signalstärke mit zunehmender Entfernung) der dominante Einfluss für den Durchsatz [1]. Wo ein herkömmliches WLAN schon nur mäßig funkt, wird auch MIMO nicht seine volle Performance bringen. Die Faustregel "je weiter, desto langsamer" gilt also auch in Zukunft.

Zwar hatten auch andere Hersteller zur CeBIT 2005 Produkte angekündigt und teils als Prototypen unter Glas gezeigt, doch waren zum Testzeitpunkt von Buffalo, D-Link, Linksys, SMC und Netgear noch keine Geräte erhältlich. Während Erstere anscheinend ebenfalls den Airgo- Chipsatz wählen, hat sich Netgear für eine andere Lösung entschieden: Ein spezieller Controller (BeamFlex von Video54) gebietet über sieben Antennensegmente auf der Platine, die er fallweise zusammenschaltet. Das Gebilde hat ähnlich einer drehbaren Radarantenne eine mehr oder weniger ausgeprägte Richtwirkung. Video54 nennt einen Richtgewinn von sieben bis zehn Dezibel (Leistungsfaktor fünf bis zehn), wozu noch mal ein Diversitätsgewinn von bis zu 10 dB kommen soll. Das führt zusammen zu einer deutlich besseren Funkübertragung, was wiederum höheren Durchsatz bei gleicher Distanz ermöglicht. Netgear setzt einen Atheros-Chipsatz mit optionalem Channel Bonding ein, was brutto 108 MBit/s auf der Funkstrecke ergibt, allerdings auch einen doppelt so breiten Funkkanal belegt. Dadurch werden Störungen durch Nachbar-WLANs wahrscheinlicher. Eine von Netgear bei VeriTest in Auftrag gegebene Untersuchung an Vorseriengeräten bescheinigt der BeamFlex-Lösung einen zu den Airgo-Produkten vergleichbaren Durchsatz

Konzept:

Nutzung einer größeren Anzahl an Antennen in einer Zelle um über räumlich unterschiedliche Transmissionswege die Daten der Teilnehmer parallel und nicht seriell zu übertragen.

Man spricht von einem $M \times N$ MIMO System. M & N bezeichnen die Anzahl der Antennen an der Basisstation bzw. Mobilstation.

Die Antennen sind zwar räumlich getrennt, können bei Nutzung von Array Antennen aber auf verhältnismäßig geringem Raum (z.B. auf dem Deckel des Laptops) untergebracht werden.

Die Kapazität des Systems und somit die Ressourceneffizienz (siehe Graphik) vergrößert sich theoretisch proportional zur Anzahl der Antennen ($M=N$), d.h. bei $M=N = 2$ verdoppelt sich die Kapazität des Systems.

MIMO kann bei allen zellularen Systemen (z.B. GSM, UMTS) sowie Drahtlos-Systemen (z.B. WLAN, WiMAX, MBWA) eingesetzt werden.

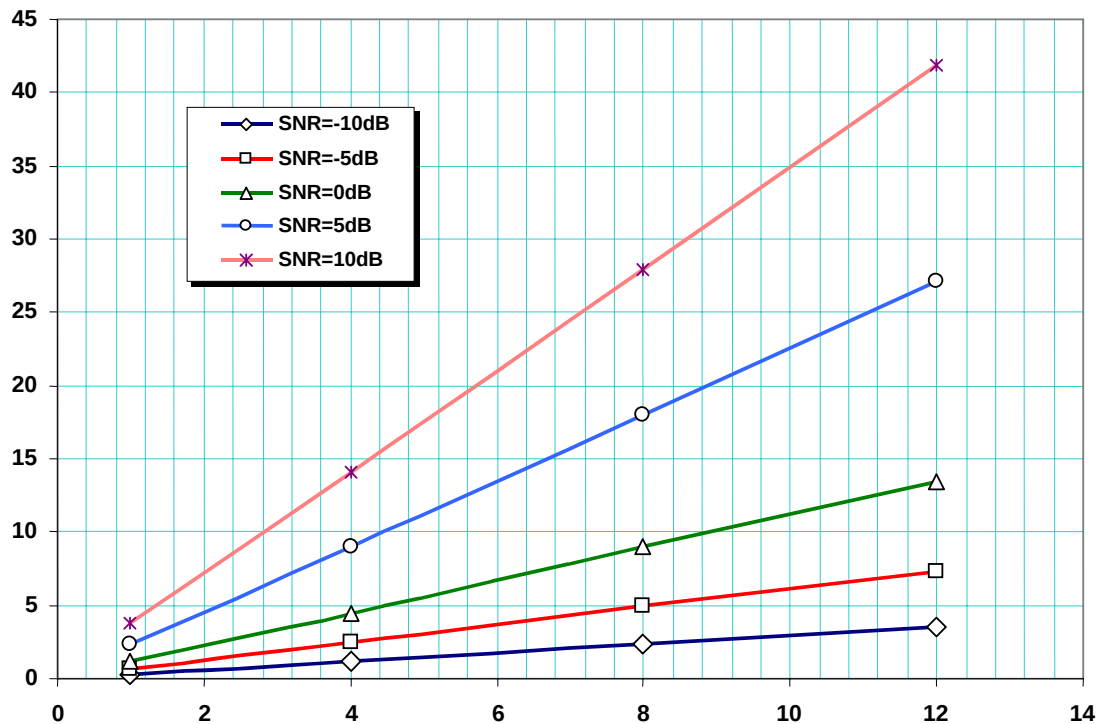


Abbildung 1-50. (Abhängigkeit der Kapazität von dem erzielbaren Signalgewinn über die Diversität, Quelle: enorm- F.Hompf)

MIMO wird aktuell als die vielversprechendste zukünftige Erweiterung von Funksystemen betrachtet. Es wird derzeit vor allem für W-LAN Systeme entwickelt und angewendet, gängige Standards sind aber noch nicht verabschiedet.

Effekt – Strahlungsbelastung:

MIMO kann einerseits die Kapazität eines Mobilfunknetzes deutlich steigern. Die Emissionsdauer sinkt deutlich bei gleichem Datenvolumen (Halbierung bei 2x2 MIMO) und die Höhe der Immissionen sinkt ebenfalls erheblich¹¹⁰.

Effekt – Netzbetreiber (Qualität, Kosten, Kapazität):

☺ Die Kapazität des Systems wird erheblich gesteigert. Es tritt theoretisch eine Kapazitätsverdopplung bei einem 2x2 MIMO System ein.

¹¹⁰ siehe auch Wiesbeck, et.al. MiniWatt- Studie S.40 ff.

- ☺ MIMO kann mit anderen Advanced Antenna Konzepten wie Beam-forming, Antennen-Diversity und/oder Sektorisierung gekoppelt werden.
- ☹ Kosten für neuartige Array-Antennen sowie neue Soft- & Hardware in Basisstationen/Node Bs bzw. BSCs/RNCs.

Effekt – Teilnehmer (Qualität):

- ☺ Der Teilnehmer erfährt eine deutliche Reduzierung seiner Übertragungszeiten.
- ☹ Neue, teurere Mobilstationen werden erforderlich. I.d.R. wird MIMO nur für größere Anwendungen (z.B. Laptops, PDAs) aufgrund der aufwendigeren Antennentechnik in Frage kommen.

Verfügbarkeit:

MIMO ist in UMTS (Rel. 6) spezifiziert, in WLAN ist die Spezifizierung im Gange (IEEE 802.11N). Equipment könnte ab 2007/08 auf dem Markt verfügbar sein.

Probleme:

Aufwendige Antennentechnik im Teilnehmer-Endgerät.

8.4.2. Multihopping, Netze auf Basis der Teilnehmer

ODMA: Opportunity Driven Multiple Access

Konzept:

- **ODMA** beschreibt sogenannte **Multi-hop Relay Systeme**¹¹¹, in denen die Reichweite konventioneller Mobilfunksysteme (z.B. UMTS) und Drahtlossysteme (z.B. WLAN) erweitert wird
- ODMA Systeme ähneln Internet Verbindungen; die Datenübertragung von der Mobilstation bis zur Basisstation kann in mehreren Einzelschritten (Multi-hop) erfolgen
- Man unterscheidet die Multi-hop Systeme hinsichtlich der Art der Relay-Stationen. Bei „**Ad-hoc Multi-hop networks**“ stellen die Mobilstationen aller

¹¹¹ Literatur:

ITU-R WP 8F Report "Technology Trends", Document 8/2-E, 27.10.2003; Annex 15
 3GPP, "TR25.848 V0.5.0, Physical Layer Aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access(HSDPA)," January 2001.
 ETSI, "TR 101 112 V3.2.0 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS (UMTS 30.03 version 3.2.0)," April, 1998.
 3GPP, "TR 25.924 V1.0.0. TSG-RAN Opportunity Driven Multiple Access," 1999.
 Y.-D. Lin and Y.-C. Hsu, "Multihop cellular: a new architecture for wireless communications," in IEEE INFOCOM, 2000.
 A. N. Zadeh, B. Jabbari, R. Pickholtz, and B. Vojcic, "Self-organizing packet radio ad hoc networks with overlay (SOPRANO)," IEEE Communications Magazine, vol. 40, pp. 149-157, 2002.
 H. Wu, C. Qiao, S. De and O. Tonguz, "An integrated Cellular and Ad hoc Relaying system: iCAR," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC), Vol. 19, No. 10, Oct. 2001.
 H. Luo, R. Ramjee, P. Sinha, L. Li, S. Lu, "UCAN A Unified Cellular and AdHoc Network Architectur," In proceedings of Mobicom, SanDeigo 2003.
 P. Bender, P. Black, M. Grob, R. Padovani, N. Sindhushyana, and A. Viterbi, "CDMA/HDR: a bandwidth efficient high speed wireless data service for nomadic users," IEEE Communications Magazine, vol. 38, pp. 70-77, 2000.
 K. Kar and S. Banerjee, "Node placement for connected coverage in sensor networks." In Proceedings of the second WiOpt Workshop, 2004.

Teilnehmer die Relay-Stationen. Bei „**structured Multi-hop networks**“ stellen fest installierte Erweiterungspunkte des Netzbetreibers (Sende- & Empfangsstationen geringer Größe & Leistung), sogenannte „Seed Nodes“, die Relay-Stationen. Mischsysteme sind ebenfalls möglich.

- Die benötigte Übertragungsenergie für einen Einzelschritt wird deutlich gesenkt; somit sinkt auch das allgemeine Interferenzniveau.

Effekt – Strahlungsbelastung:

- ☺ Die Emissionsenergie für einen Einzelschritt wird von und zur Basisstation (Downlink & Uplink) deutlich gesenkt. Die Höhe der Immissionen sinkt i.d.R. stark.
- ☺ Structured Multi-hop networks: Die Emissionsenergie aktiver Teilnehmer sinkt um Größenordnungen.
- ☺ Ad-hoc Multi-hop networks: Die Emissionsdauer aktiver (eingeschalteter) Teilnehmer steigt, da deren eigene Mobilstation als Relay-Station für die Datenübertragung anderer Teilnehmer genutzt wird. Die Gesamtemission sinkt aufgrund der deutlich niedrigeren Energie für Einzelschritte trotzdem.

Effekt – Netzbetreiber (Qualität, Kosten, Kapazität):

- ☺ Die Kapazität der Funkzelle steigt aufgrund des deutlich reduzierten Interferenzniveaus.
- ☺ Die Reichweite & somit Größe der Zellen steigt deutlich. Die Anzahl der benötigten Sites wird somit geringer. Die Kosten für Sites / Basisstationen sinken.
- ☺ Seed Nodes bieten dem Netzbetreiber die Möglichkeit Funklöcher „zu stopfen“.
- ☺ Kosten für die Software- & Hardware-Aufrüstung der Basisstationen/Node B's und RNC's/BSC's. Kosten für zusätzliche Seed Nodes (vom Netzbetreiber betriebenen Relaystationen im Fall von structured Multi-hop networks). Da die Größe & Kosten für Seed Nodes und deren Standorte gering sein dürfte (Energiebedarf z.B. über Sonnenenergie abzudecken) sinken die Kosten der Netzbetreiber für die Infrastruktur im Ganzen signifikant.

Effekt – Teilnehmer (Qualität):

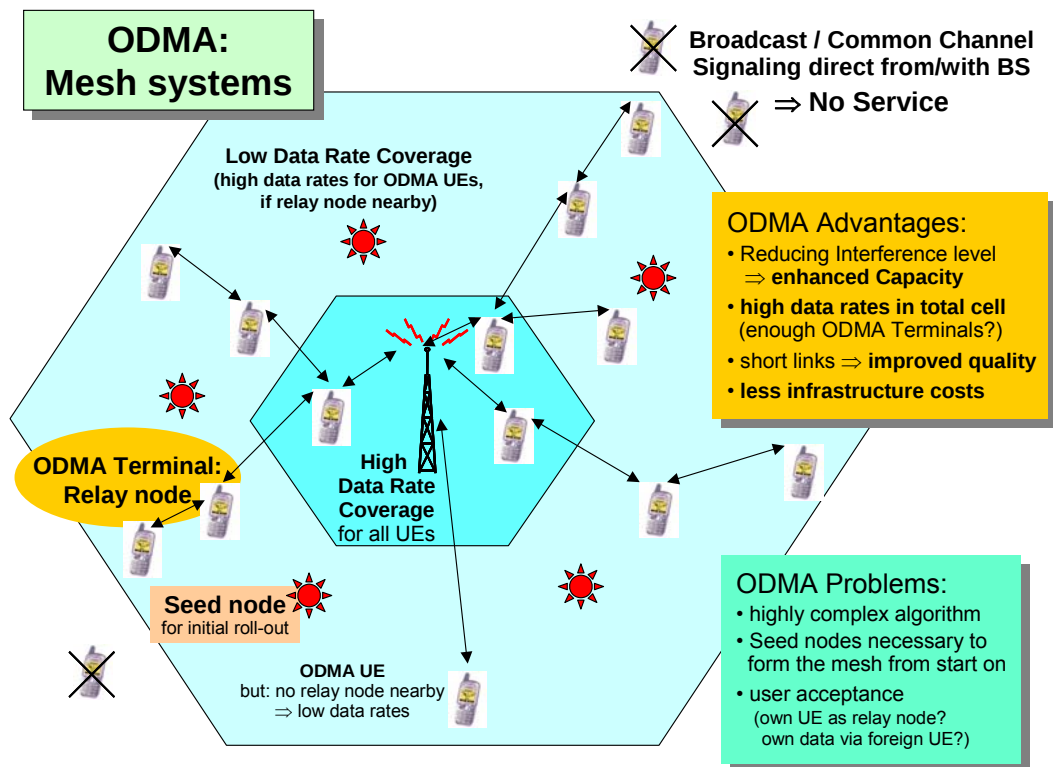
- ☺ Der Teilnehmer erfährt keine negative Änderung der Service Qualität. Eventuell steigt die Service Qualität, da Funklöcher durch zusätzliche Seed Nodes / Relaystationen leichter als bisher vermieden werden können.
- ☺ Die Sendedauer der Mobilfunkbatterien erhöht sich aufgrund der geringeren Emission.
- ☹ Der Teilnehmer könnte ggf. negative Emotionen entwickeln durch die Vorstellung, dass Daten anderer Teilnehmer seine Mobilstation passieren (nur ad hoc Multi-hop Network).

Verfügbarkeit:

nicht verfügbar; nur Studien

Probleme:

- zeitliche Verzögerungen der Übertragung sowie Routing- Probleme sind momentan ungelöste Fragen.



ODMA: Opportunity Driven Multiple Access

Abbildung 1-51. (Schema eines Multihop- Netzwerkes, Quelle: enorm- F.Hompf)

8.4.3. Ein gemeinsames UMTS- Netz: M- RAN

Nur der Vollständigkeit halber sei hier der Vorschlag und das Gutachten zum Aufbau eines gemeinsamen UMTS- Netzes in der Schweiz genannt. Dort ist auch eine sehr pauschale Schätzung über die Auswirkungen auf die Strahlung gemacht. Man schätzte konventionell die Einsparung der gesamten Strahlungsmenge auf **15-20%** bei Errichtung eines gemeinsamen Netzes statt vier einzelner Netze¹¹². Insbesondere unter der heutigen Sicht der sich schleppenden Markteinführung von UMTS wäre eine erneute Beurteilung aus Kostensicht der Betreiber interessant.

8.5. Bewertung und Vergleich aller Möglichkeiten- Vorschlag für theoretische Anwendung

Die oben aufgeführten technischen Möglichkeiten zur Immissionsminimierung werden in folgender Übersicht ansatzweise bewertet. Es ist nicht möglich, alle Effekte in ihren Wirkungen aufzuaddieren, teilweise widersprechen sich die Konzepte grundsätzlich.

Kurzbezeichnung Kategorie A	Verfüg- barkeit	Kosten	Effekt	Bewertung
--------------------------------	--------------------	--------	--------	-----------

¹¹² Prof. Dr. Jörn Kruse, Uni Hamburg: "Ein gemeinsames Funknetz für UMTS in der Schweiz- Ökonomische Aspekte", März 2002, "avenir Suisse- think tank for economic and social issues"; S.9

Abstand und Höhendifferenz Station zu Endgerät	system-immanent	gering	-3 bis -10 dB	in verdichteten Räumen entscheidend
Lage von Basisstationen	durch Planung	neutral	-3 bis -17 dB	entscheidend
Link Budget	system-immanent	Umsatzverluste bis 50% ?	-8 bis -12 dB	Verzicht auf Innenraum-Versorgung
Hierarchie der Versorgungsstandorte HCS	System-immanent, verfügbar	intensive Planung und Wartung	+/-	Teils aus Kapazitätsgründen unersetzbar
Leistungsbegrenzung				
Antenna Diversity	bewährt, erprobt	gering	je -3 bis -4 dB	Polarisations-diversity, Space diversity
Repeater	bewährt, erprobt	Im Einzelfall	bis -10 dB	nur begrenzt einsetzbar
UHS- UltraHighSite	e-plus Patent	hohe Einsparungen	bis -20 dB	Substruktionen notwendig, Einsatz beschränkt

Kurzbezeichnung Kategorie B	Verfügbarkeit	Kosten	Effekt	Bewertung
Modulationsverfahren	system-immanent	nur vorab Entwicklung	-3 bis -10 dB	in verdichteten Räumen entscheidend
Antennenkonzepte	durch Planung	neutral	-3 bis -17 dB	entscheidend
beam forming	technisch entwickelt	hoch bis serienreife	Spitzen bleiben oder steigen	nur bei Lastkanälen möglich
Trennung von Empfangs- und Sendeantennen	technisch entwickelt	hohe Verkabelungskosten	hoch	Probleme der doppelten Standortfindung

Kurzbezeichnung Kategorie C	Verfügbarkeit	Kosten	Effekt	Bewertung
-----------------------------	---------------	--------	--------	-----------

MIMO: Multiple-Input Multiple-Output	in der Entwicklung			zukunftsweisend
Multihopping	theoretisch möglich	gering	je -3 bis -4 dB	Polarisationsdiversity, Spacediversity
M- RAN	nicht umgesetzt	Grosse Einsparungen	ca. -1 dB	nur einvernehmlich einsetzbar

Wie im nachfolgenden Kapitel deutlich wird, stellt unsere Sammlung von Möglichkeiten und als Konklusion die obige Aufstellung eine gewisse Fleißaufgabe dar, da anhand der konkreten Situation in Liechtenstein sich praxisnäher zeigen lässt, welche Möglichkeiten für einen neuen Grenzwert bestehen.

Andererseits wird deutlich, dass es neben den Kriterien

- Standortwahl
- Sendeleistung
- Höhe und Ausrichtung der Antennen
- Frequenz (Dämpfung)

eine **Reihe von Faktoren gibt, die die Immissionen positiv beeinflussen können bzw. die Kapazität andererseits so erhöhen können, dass sich Zwänge aus den o.g. Kriterien kompensieren und im Sinne der Versorgung positiv beeinflussen lassen.**

8.6. Einhaltung und Kontrolle

Jegliche Art von gesetzlicher Reglementierung bedarf der Möglichkeit der Kontrolle und Sanktion, um wirksam zu werden. Dazu gibt es verschiedene Modelle der gesetzlichen und ordnungspolitischen Kontrolle, eher liberale oder strengere Methoden. Alle Arten von Messungen, Berechnungen und sonstigen Verfahren unterliegen gewissen, eigenen Unsicherheiten, die sich kumulativ oder reduzierend auf die Ergebnisse der hochfrequenzeigenen Schwankungen auswirken können.

Bei einer Reihe der o.g. Maßnahmen stehen die heute bekannten und bewährten Methoden an den Grenzen der Erfassbarkeit, bzw. liefern verfälschte Ergebnisse. Als Beispiel seien die gerichteten Antenna Beams genannt, die der Kapazitätssteigerung aber auch dem Einsatz zur Immissionsminimierung dienen können. Ein Messergebnis während der Lastphase zwischen Sender und Empfänger liefert dramatisch andere Ergebnisse, als dieselbe Messung am Tag zuvor geliefert hatte oder die andere Mittelung der Werte über einen längeren Zeitraum liefern würde. Umgekehrt kann auch ein ruhender Beam oder eine Messung im augenblicklich toten Winkel einer „smart antenna“ mögliche Felder stark unterschätzen.

Es sei damit angedeutet, dass gerade die dynamischen Systeme erhebliche Schwierigkeiten der replizierbaren Erfassung mit sich bringen, was im Rahmen von strengeren Grenzwerten oder einer Planung „näher an 100%“ zu erheblichen

Diskussionen und Streitigkeiten zwischen Verursachern, Behörden und Messingenieuren führen wird. Dies dient nicht dem Ziel der Immissionsminimierung selbst, sondern stellt zuallererst nur einen gemeinsamen „Schaden“ dar.

Es ist daher anzunehmen, dass eine Grenzwertsenkung, die sich den im Alltag gemessenen Werten annähert nicht nur zu einem **erhöhtem Aufwand der Behörden im Vollzug** führen wird, sondern auch zu allfälligen „Grenzfällen“ der Beurteilung und Zulässigkeit.

Neben den eigenen Schwankungen der Sendeleistungen addieren sich immer die Messungenauigkeit der Geräte, der Methode und des Zeitpunktes der Messungen. Gerade im Falle einer strengen Auslegung fehlen die „Reserven“, um regelmäßig replizierbare Ergebnisse mit einer klaren Aussage liefern zu können. Daher müssen Grenzwerte im Gegensatz zu Planungswerte einer Prädiktion mit noch höheren Abständen zu den tatsächlichen Feldstärken erlassen werden.

9. Ansatz in Liechtenstein

9.1. Vergleich theoretisch ermittelter Möglichkeiten mit Aufgabenstellung

Aufgrund der international lebendigen Diskussionen über die ICNIRP- Grenzwerte, deren Umsetzung in vielen Ländern und der auftretenden Hemmnisse, schien das kleine Liechtenstein auf den ersten Blick eine geradezu ideale Grundlage für einen „innovativen Testfall“ zu sein. Dies war auch unsere erste Motivation und Eindruck angesichts der Aufgabenstellung für diese Studie. Es sollte nach unserem ersten Eindruck möglich sein, ohne die Hemmnisse einer übermächtigen Bürokratie und einer Hierarchie von Zuständigkeiten, hier leichter neue Ansätze zu verfolgen und durchzusetzen. Daher war unsere Projektbeschreibung insgesamt umfassend formuliert und ergebnisoffen.

Aufgrund der Feststellungen der grenzüberschreitenden Einflüsse hatte sich die Euphorie über die erhofften Möglichkeiten schnell gelegt. Es wurde darauf verzichtet, die theoretisch ermittelten Möglichkeiten einer praxisnahen Überprüfung anheim zustellen, da die zu erwartenden Effekte um Größenordnungen kleiner waren, als der dominierende Effekt des Auslandseinflusses, respektive da der Bewegungsspielraum innerhalb funktionierender Netze entsprechend klein blieb.

Es wurde daher für den Raum Rheintalgebiet/ Talboden ein theoretisches Standortszenario (Teil 2, Kapitel 4.4) erarbeitet, welches in Größenordnungen zeigen sollte, welche Gewinne innerhalb der Standortwahl möglich sein könnten. Ohne grenzübergreifende Zusammenarbeit erschien eine Anwendung technischer Innovationen in einem größeren Zusammenhang heute nicht lohnenswert.

Ähnlich wurde nach Grundlagenerarbeitung im Alpengebiet sich unsererseits darauf konzentriert, innerhalb des möglichen Rahmens eine bestmögliche Variante (**Teil 2, Kapitel 5.2**) zu erarbeiten, die sich als umsetzbar und realistisch erweisen kann.

9.2. Einschränkende Faktoren

Eine nicht abschließende Auflistung von Stichworten soll den Umfang des Problems erläutern:

- Nicht nur Handygeräte sind universell und ubiquitär einsetzbar, global entwickelt- jeder interessante Roamingkunde bringt seine Gerät mit. Daher sind die **Bedingungen des weltweiten Roamingstandards eine starre Größe und unveränderlich.**
- In der Lizenzvergabe durch die Regierung sind **Bedingungen und Anforderungen an den Netzbetrieb fixiert.** Auch wenn diese nicht unveränderlich sind, stellen sie jedoch eine feste Größe dar, die zudem internationalen Standards entsprechen.

- wie in jedem Land stellen die international festgelegten **Frequenzbänder eine knappe Ressource** dar, die zudem **unveränderlich an die Funkstandards** gebunden ist.
- aufgrund der kontroversen Diskussion stellen auch Liegenschaften als mögliche Standorte eine knappe Ressource dar, insbesondere Privateigentümer sind nicht mehr bereit, Mietverträge zu zeichnen

In einem nächsten Schritt wären diese Stichpunkte zu vervollständigen und mit einer Rangfolge zu werten: Welche Einschränkungen sind kritisch und machen die Verfolgung von Immissionsschutzansätzen unsicher?

Auf die kritischen Einschränkungen, wie sie aus der Grenzlage zur Schweiz und zu Österreich resultieren und aus den Folgen des Einbuchungsverhaltens wird bei der Untersuchung des Status Quo bzw. in einem eigenen Kapitel im Teil 2 hingewiesen.

9.3. Bewertung, Auswahl und Entscheidungsgrundlage

Aus den Voruntersuchungen und Folgerungen stellen sich die Fragen:

- Welche Ansätze sehen wir als für die weitere Umsetzung für plausibel und aussichtsreich?
- Welche nehmen wir daher in die folgende Überprüfung als Versorgungsplots auf?

Auch aus Ökonomiegründen wurde dabei auf die erfolgversprechendsten Ansätze zugegriffen, die im Teil 2 der Studie hergeleitet und vorgestellt werden.

9.4. Auswertung, Bewertung, Kostenvergleich

Da diese Versorgungsmodelle an unveränderlichen Randbedingungen scheitern, also das selbst gesteckte Ziel einer immissionsminimierten Versorgung nicht erfüllen, erscheint es obsolet, die Kosten einer solchen Versorgung und den erforderlichen Mehraufwand auszuweisen.

Es kann grob damit gerechnet werden, dass die eingesetzten Anlagen jeweils die Kosten einer normalen Basisstation nach sich ziehen, also das **Niedrigleistungsszenario B die ca. drei- bis vierfachen Kosten des bevorzugten Szenarios A** nach sich ziehen, darüber hinaus sind innerhalb eines Alpenkurortes freistehende 20m- Masten selbst mit dem Versprechen geringster Sendeleistung sicher dem Ort nicht angemessen und dürften dem Ziel einer „sorgenfreien“ Rückzugszone eher schaden.

Nach Entscheidung des weiteren Vorgehens können mit den vorhandenen Angaben und Zahlen aus Kapitel 5.2.4 weitere Kostenvergleiche angestellt werden.

9.5. Empfehlung

Bei der Festlegung von Grenzwerten sind entsprechend der vorangegangenen Herleitung ebenfalls zu regeln:

- mit welcher Wahrscheinlichkeit die festgesetzten Werte zu unterschreiten sind, hier war die Annahme 95%, da sich hier die eingeführten Bedingungen wiederfinden.
- mit welcher Methode die tatsächlichen erzeugten Felder erfasst werden, Messungen oder Berechnungen, wie die jeweiligen Unsicherheiten einer Methode, z.B. als Messungenauigkeit in eine solche Bewertung mit einfließen; Da die buwal- Messempfehlung den fortschrittlichen Stand der Technik darstellt und auch international Vorbildfunktion besitzt, dürfte hier kein Änderungsbedarf bestehen. Evtl. offene Fragen, z.B. zu UMTS-Messungen sind in der Bearbeitung;
- welche weiteren Frequenzbereiche (auch UKW, Polycom, etc.) in eine solche Grenzwertbetrachtung einfließen und wie diese aufsummiert werden (quadratische Summationsformel). Falls es sich gem. der bisherigen NISV bei den strengeren Vorsorgeüberlegungen um Anlagengrenzwerte handelt, ist mit Augenmass zu entscheiden, mit welcher Berechtigung dem Mobilfunk strengere Restriktionen auferlegt werden als anderen Hochfrequenzquellen und mit welchem Effekt sich diese strengen Maßstäbe dann tatsächlich für die Bevölkerung wertvoll erweisen könnten.

Unter den Bedingungen und Annahmen, die vorausgehend ermittelt wurden, scheint es folgerichtig und möglich:

1. den Geltungsbereich des OMEN- Grenzwertes zu erweitern, z.B. landesweit für bebaute Gebiete in der ebenerdigen Messhöhe von 1,5 m im Freien anzuwenden
2. weitere Senkungen ohne internationale Kooperation und gemeinsame Senkung gleichzeitig und Zug um Zug, sind mehr als nachteilig für die Liechtensteiner Netzbetreiber bis hin zur Aufgabe der Existenzberechtigung eigener Liechtensteiner Versorgungen im Talgebiet
3. ist ein Vorsorgewert von 0,02 V/m mit den vorhandenen GSM- Systemen technisch nicht machbar, bzw. führt, angewendet nur auf Mobilfunkbasisstationen durch die Leistungen der Endgeräte zu gegenteiligen oder die Berücksichtigung anderer Frequenzen zu keinen wesentlichen Immissionsschutzeffekten
4. ist für das Liechtensteiner Alpengebiet mit seiner losen Bebauung und Topografie ein Zielwert für die bebauten Flächen denkbar, der noch unter den OMEN- Werten von 4 bzw. 6 V/m liegt. Da durch mobilfunkfremde Sender bereits Spitzenwerte von 0,39 resp. 0,40 V/m entstehen, ist der Rahmen für einen tiefen Grenzwert über die Summation hinaus begrenzt, bzw. für einen Anlagengrenzwert maximal in der gleichen Größenordnung angebracht, die

Antwort ist aber keine reine „Zahl“, da der Zielwert stark von den Mess- oder Ermittlungsbedingungen abhängt.

Insbesondere letztere Empfehlung ist in Ihrer Konsequenz wichtig zu akzeptieren, da sonst jede Aussage reine „Augenwischerei“ darstellt. Eine Aussage, die Salzburger Vorsorgeempfehlung von 0,61 V/m sei bereits heute machbar, ohne nähere Angabe werde dies aber als 50% Mittelwert angenommen, dient weder der echten Immissionsminimierung noch der Versorgungssicherheit.

9.6. Exkurs und Wertung

Um abschließend zu einer Wertung kommen zu können, erscheint es sinnvoll, erneut weiter auszuholen. Was sagen andere dem Thema verantwortliche Politiker?

“Die öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Wirkungen der elektromagnetischen Felder ist nach wie vor in vollem Gang: die Medien haben sie aufgegriffen, sie beschäftigt Parlamente und Gerichte. Dennoch will der überwiegende Teil der Bevölkerung überall und jederzeit mobil kommunizieren. In diesem Dissens ist verantwortungsbewusste Politik gefordert - wir (Anm. des Verfassers.: vom Umweltministerium der Bundesrepublik Deutschland) lassen uns dabei von drei Prinzipien leiten:

- gesundheitliche Risiken sind auf ein Minimum zu reduzieren,
- die Gesundheitsforschung zur nachhaltigen Risikobewertung ist voranzutreiben,
- ein aktiver Beitrag zur Konfliktschlichtung ist gefragt.

Deshalb werden u.a. folgende Vorsorgemaßnahmen getroffen:

- die bereits angesprochene verständliche Information der Bevölkerung über elektromagnetische Felder und deren möglichen gesundheitlicher Risiken. Messkampagnen und gelungene Beispiele für die Bewältigung von Interessen-Konflikten gehören ebenso dazu.
- die Minimierung der Exposition im Rahmen des technisch Möglichen, dazu gehört auch die Ausschöpfung technischer Innovationen nicht nur bei den Klingeltönen sondern auch bei der effizienten Ausnutzung der Felder, wenn wir vermeiden wollen, dass diese neuen innovativen Entwicklungen im wahrsten Sinn an ihre Grenzen oder besser Grenzwerte stoßen. Forschungsprojekte am Bundesforschungsministerium zu alternativen Funksystemen mit minimaler Strahlungsleistungsdichte im digitalen Rundfunk, Mobilfunk, drahtlosen LANs - kurz: Miniwatt-Forschung - zeigen hier den Weg.
- präventive Gesundheitsforschung: d.h. nicht nur im Hinblick auf bereits eingesetzte, sondern auch auf zukünftige, derzeit in Entwicklung befindliche Technologien. ¹¹³

¹¹³ Simone Probst, Rede zum 3. Fachgespräch im Rahmen des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramm, Berlin, 28.04.2005

Die Weltgesundheitsorganisation rät im Umgang mit der Thematik zu einem kompromisslos offenen Dialog:

„Viele staatliche und private Organisationen haben eine grundlegende - wenn auch manchmal schmerzliche - Lektion gelernt, nämlich die, dass es gefährlich ist anzunehmen, dass die betroffenen Bevölkerungsgruppen nicht bereit oder nicht in der Lage sind, einen sinnvollen Beitrag zu Entscheidungen über die Standortwahl für neue EMF-Anlagen oder die Genehmigung neuer Technologien vor ihrer Anwendung zu leisten. Daher ist es von entscheidender Wichtigkeit, dass zwischen allen von solchen Fragen betroffenen Personen und Gruppen ein Dialog hergestellt wird. Zu den Bestandteilen eines konstruktiven Dialogs gehören Konsultationen mit den Beteiligten, die Anerkennung wissenschaftlicher Ungewissheit, die Berücksichtigung von Alternativen und ein fairer, transparenter Entscheidungsprozess. Sind diese Voraussetzungen nicht erfüllt, kann es zu einem Vertrauensverlust und zu Fehlentscheidungen sowie zu Projektverzögerungen und Kostensteigerungen kommen.“¹¹⁴

Andererseits ist mit der Diskussion um Vorsorge auch eine latente Drohung, nämlich des Verlustes jeglicher Glaubwürdigkeit verbunden: „Wenn die Regulierungsbehörden auf Druck der Öffentlichkeit mit der Einführung von Vorsorgewerten zusätzlich zu den bereits bestehenden wissenschaftsbasierten Grenzwerten reagieren, sollten sie sich bewusst sein, dass sie damit die **Glaubwürdigkeit der Wissenschaft und der Expositionsgrenzwerte untergraben**.“¹¹⁵

In diesem Spannungsfeld bewegt sich die Festlegung von Grenzwerten.

Was empfehlen wir als Gutachter der Regierung über die Grenzwertdiskussion hinaus zu tun?

Da sich im Alpengebiet mit den weitreichenden Überlegungen ein Versorgungsszenario anbietet, das strengere Bedingungen erfüllt und damit einen besseren Schutz der Umwelt und Bevölkerung, als sie vermutlich gesetzlich vorzugeben wären, scheint es sinnvoll, **diesen Ansatz konkret zu verfolgen, zu fördern und umsetzen** zu lassen. Dabei müsste nicht auf den Abschluss eines NISV- Gesetzesvorhabens gewartet werden. Die Studienergebnisse lassen darüber hinaus einen Rahmen erkennen, der technisch machbar und wirtschaftlich vertretbar erscheint, und politisch gewichtet umgesetzt werden könnte.

Um die konkrete Gesetzesvorlage vorzubereiten, wäre eine Reihe von weiteren, v.a. juristischen Schritten notwendig. Wie gezeigt wurde, bestehen Wechselwirkungen mit dem Telekommunikationsgesetz, den Konzessionen und weiteren

¹¹⁴ STRAHLENSCHUTZ & UMWELTHYGIENE, ABTEILUNG SCHUTZ DER MENSCHLICHEN UMWELT, WELTGESUNDHEITSORGANISATION: Herstellen EINES DIALOGS ÜBER DIE RISIKEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER, GENÈVE, SCHWEIZ 2002, deutsche Übersetzung; S.9;

¹¹⁵ WHO a.a.O. 2002, S. 72,

Vollzugsbestimmungen. Die Beteiligung und Anhörung der Betroffenen und aller interessierter Gruppen würde folgen. Aus Sicht des Studienziels sind auch einige weitere Forschungsschritte im folgenden Kapitel genannt.

9.7. Ausblick weiterer Forschungsbedarf

Trotz der Bemühung um umfangreiche Aufklärung bleiben auch hier Fragen offen, die nicht abschließend geklärt werden konnten.

Konkreter **weiterer Untersuchungsbedarf** ergab sich aus der gemeinsamen Betrachtung der mobilfunkfremden Frequenzen. Es wäre wünschenswert, wenn sich **nach Errichtung der UKW- und Polycom- Sender** das Budget finden liesse, um nachträglich die Eichungen für die Frequenzen unter 900 MHz, also ca. 100 und 400 MHz nachzuholen. Ebenso sind ebenfalls Leistungsspitzen im Frequenzbereich über 2.000 MHz (bei ca. 2,6 GHz, vermutlich Flugradar?) aufgefallen, die nicht weiter bestimmt wurden. Aufgrund des vorliegenden Datenmaterials sind solche Ergänzungen nicht mehr in dem Masse aufwendig, wie das die gesamte Grundlagenerstellung zu dieser Studie war. Aus dem Zusammenwirken aller Frequenzen entsteht damit eine andere Gewichtung für das Problemfeld Mobilfunk und die Gestaltung der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierenden Hochfrequenzfeldern.

Im Kapitel 7.7.6. haben wir den Vorschlag „**minimal emission**“ als Qualitätskriterium einzuführen vorgetragen. Es wäre zu entwickeln, welche Mess- und Ratingverfahren dazu notwendig wären, einen solchen Maßstab zu entwickeln oder ob es bereits solche Maßstäbe in ähnlicher Form gibt. Dieses Verfahren wäre zu standardisieren und in ersten Versuchen in verschiedenen Ländern, z.B. im Staatsgebiet von Liechtenstein anzuwenden.

Die ganz große Utopie vom möglicherweise „**sanfteren**“ **Mobilfunk**, also dem Betrieb mit schwächeren Feldern, musste mit der Betrachtung der massiven grenzüberschreitenden Einwirkungen in Liechtenstein auf halbem Wege enden, da zum einen die Liechtensteiner Versorgung ad absurdum geführt würde, aber auch der minimierende Effekt gering sein würde.

Weitergehende Lösungen für das Rheintal ergäben sich nur aus der Sicht eines gemeinsamen Szenarios, welches zumindest Teile des Schweizer Kantons St. Gallen bis hinauf auf die Berghöhen und Grate links des Rheins von Sargans bis Oberriet, auf der anderen Seite das Stadtgebiet von Feldkirch in gleicher Weise miterfasst. Nach Süden und Osten sind die Einflüsse durch die klare Topografie eher klar abzugrenzen.

In diesem größeren Zusammenhang mit Auftraggebern aus **drei Nationen** könnte und sollte die Frage nach der **Machbarkeit niedrigerer Grenzwerte** auch für dichter bebaute und großräumigere Versorgungssituationen erneut gestellt werden.

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1. (Übersicht Gemeindegrenzen, Quelle: : LLV Portal, download Mai 2005)	13
Abbildung 1-2. (Tabelle IMMISSIONSGRENZWERTE NACH LIECHTENSTEINER NISV, ART.18, 1))	18
Abbildung 1-3. (Tabelle GRENZWERTE NACH ICNIRP EMPFEHLUNGEN, in Klammern stehen die vom Verf. ergänzten Werte, bzw. ist auch ergänzt die zusätzliche Einheit mW/m^2)	18
Abbildung 1-4. (Tabelle ANLAGENGRENZWERTE, in Klammern stehen die vom Verf. ergänzten Werte, bzw. ist ergänzt die zusätzliche Einheit mW/m^2)	20
Abbildung 1-5. (Aufteilung des technisch genutzten Spektrums, Quelle: RAI, modifiziert enorm, F.Hompf)	28
Abbildung 1-6. (Bezeichnungen von Frequenzen, Quelle: Bezeichnung der Frequenzbereiche entsprechend den Internationalen "Radio Regulations", Genf, 1985)	29
Abbildung 1-7. (kommerziell betriebene Frequenzbänder für GSM / UMTS, Quelle: www.3gpp.com)	32
Abbildung 1-8. (Umrechnungstabelle dezibel- Wert in Faktoren)	35
Abbildung 1-9. (Umrechnungstabelle Pegeldifferenz dBm in Leistung [Watt], dazu Vergleich Größenordnungen und Kategorisierung nach Empfangspegel, dazu Angabe der Handyregelung in 2dB Schritten: Leistungsstufen LS 5 bis 19 bei GSM 900, Regelungsstufen RS von 0 bis 15 bei DCS 1800)	36
Abbildung 1-10. ("Cell coverage calculation using link budget" aus dem Linkbudget entwickelt sich die PLANungsgröße der Zellgröße bzw. in der Fläche die Anzahl der benötigten Sites, zitiert nach http://www.umtsworld.com/technology/coverage.htm)	37
Abbildung 1-11. (Tabelle Konzessionsbedingungen für GSM/ DCS Netzbetreiber in Liechtenstein)	38
Abbildung 1-12. (Zielwerttabelle eines DCS 1800- Netzbetreibers als Vergleichsmaßstab für eine Netzplanung, auch wenn die absoluten Zahlen nicht festliegen, zeigen die Verhältnisse die unterschiedlichen Anforderungen)	38
Abbildung 1-13. (Umrechnung des Empfangspegels von dBm in RX_{LEV} , Quelle: GSM Spec. 05.08)	39
Abbildung 1-14. (Bitfehler in Stufen des RX_{LEV} , Quelle: GSM Spec. 05.08)	39
Abbildung 1-15. (Qualitätsanforderungen an die Funkübertragung in Abhängigkeit vom Verfahren, der Bitfehlerrate und Überschreitungswahrscheinlichkeit, Quelle: GSM Spec. 05.08)	39
Abbildung 1-16. (Grenzwerte der Störfeldstärke von TK- Anlagen und TK- Netzen gem. deutscher RegTP: Frequenzbereichszuweisungsplanverordnung von 2004)	40
Abbildung 1-17. (Umrechnungstabelle Feldstärke)	40
Abbildung 1-18. (Umrechnungstabelle Elektrische Feldstärke Leistungsflussdichte)	40
Abbildung 1-19. (Messergebnisse W-LAN Kapazität in Abhängigkeit von Entfernung, Büroumgebung; Quelle: Ernst Ahlers: Mehr Speed für WLANs - MIMO-WLAN-Geräte beschleunigen den Funkdurchsatz, Heise 13.05.2005, download unter http://www.heise.de/mobil/artikel/59219/0 ;)	46
Abbildung 1-20. (Quelle: N.N., Vergleich von Emissionsquellen im Haushalt)	48
Abbildung 1-21. (Eignung von Prädiktionsverfahren, + geeignet, 0 bedingt, - ungeeignet)	51
Abbildung 1-22. (Auswertung Baukosten von Mobilfunkinfrastruktur nach Bautypen, Stand 2001; Quelle: eigene Erhebungen enorm GmbH, hgp engineering www.hgpnet.de)	56
Abbildung 1-23. (Auswertung Kosten von Mastbauwerken, Stand 2001; Quelle: eigene Erhebungen enorm GmbH, hgp engineering www.hgpnet.de)	56
Abbildung 1-24. (Liste der Liechtensteiner Standorte mit Kurzbeschreibung)	62
Abbildung 1-25. (Einloggen bei Swisscom Mobile AG (Liechtenstein) (FL GSM))	63
Abbildung 1-26. (Einloggen bei Orange (Liechtenstein) AG (Orange FL))	64
Abbildung 1-27. (Einloggen bei Tango FL Tele 2 AG (Tele 2 AG))	64
Abbildung 1-28. (Einloggen bei Mobilkom (Liechtenstein) AG (FL1))	65
Abbildung 1-29. (Einloggen bei Swisscom Mobile CH (Natel))	65
Abbildung 1-30. (Einloggen bei Orange Communications CH)	66
Abbildung 1-31. (Einloggen bei Sunrise CH(TDC Swiss)	66
Abbildung 1-32. (Zusammenhang Höhenunterschied Basisstation und zunehmende Entfernung, Quelle: Ch. Bornkessel, Elektromagnetische Felder in NRW, Abschlussbericht „Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunk Basisstationen“, IMST GmbH, Kamp-Lintfort 29.08.02)	91
Abbildung 1-33. (Zusammenhang Ausgangsleistung Basisstation und zunehmende Entfernung, Quelle: Ch. Bornkessel, Elektromagnetische Felder in NRW, Abschlussbericht „Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunk Basisstationen“, IMST GmbH, Kamp-Lintfort 29.08.02)	91
Abbildung 1-35. (Typische Anwendungsbereiche, Quelle: enorm GmbH F. Hompf)	96
Abbildung 1-36. (Hierarchie von Zellen, Quelle: enorm-F.Hompf)	97
Abbildung 1-37. (Zusammenhang von Zahl der benötigten Standorte zum Pfadgewinn, Quelle: enorm GmbH, F. Hompf)	99
Abbildung 1-38. (UMTS Power Control Mechanism, Quelle: N.N.)	102
Abbildung 1-39. (Prinzip der Diversität, hier höhere Ordnung: UMTS und Empfangsantennen, Quelle: enorm-F.Hompf)	104
Abbildung 1-40. (Schema Wirkprinzip Repeater, Quelle: enorm- F.Hompf)	106
Abbildung 1-41. (Prinzip eines Repeaters in einem stark geschirmten Zug, hier einem ICE, Quelle: enorm-F.Hompf)	106

Abbildung 1-42. (Prinzip eines leaking cables, hier in einem Autotunnel, Quelle: enorm- F.Hompf)	107
Abbildung 1-43. (Schemadarstellung UHS, Quelle eplus)	108
Abbildung 1-44. (Zusammenhang Spektrumsnutzung zu Datendurchsatz bei verschiedenen Verfahren, Quelle: enorm- F.Hompf)	111
Abbildung 1-45. (Zusammenhang Datendurchsatz/ Sektor bei verschiedenen Verfahren, Quelle: enorm- F.Hompf)	111
Abbildung 1-46. (Prinzip der Sektorisierung, hier bei UMTS, Quelle: enorm- F.Hompf)	112
Abbildung 1-47. (Unterschiede von Keulenbildungen, Quelle: enorm- F.Hompf)	114
Abbildung 1-48. (Softwareprozesse bei Beam- Forming Antennas, Quelle: enorm- F.Hompf).....	114
Abbildung 1-49. (Abhängigkeit der Kapazität von dem erzielbaren Signalgewinn über die Diversität, Quelle: enorm- F.Hompf)	118
Abbildung 1-50. (Schema eines Multihop- Netzwerkes, Quelle: enorm- F.Hompf).....	121

11. Autorenerklärung

Die unterzeichneten Autoren versichern, dass Sie diese Studie mit den aufgezählten Geräten und Methoden eigenhändig verfasst haben. Bei der Erstellung arbeiteten Sie nach bestem Gewissen und Wissen und ohne Beeinflussung Dritter.

München, den 26.9.2005

Stefan M. Larass- Greger
enorm GmbH

Urheberschutzrechte nach DIN 34 sind zu beachten! Die Weitergabe, sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich und schriftlich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte bleiben vorbehalten.