

Mobilfunk in Liechtenstein- Studie zur Immissionssituation

Teil 2: Technische Auswertung der Ist-Situation und von Alternativszenarien

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.....	4
2) Rahmenbedingungen	6
2.1. Fragestellungen.....	6
2.2. Datenmaterial	6
2.3. Definitionen.....	9
2.3.1. Immissionsgrenzwert, OKA, OMEN, Anlagengrenzwert	9
2.3.2. Vorsorgewerte, z.B. sog.„Salzburger Grenzwerte“.....	10
2.3.3. Betreiber, Versorgungsplots, Feldstärkeplots	12
3) Eichung des Prädiktionstools	14
3.1. Das verwendete Prädiktionstool	14
3.2. Prinzip der Eichung	15
3.3. Klassifikation der Frequenzkanäle.....	15
3.4. Problematik der Wiederverwendung der BCCH-Kanäle	15
3.5. Freiraumausbreitungskoeffizient	17
3.5.1. GSM 1800 Band.....	17
3.5.2. GSM 900 Band.....	19
3.6. Reflektions- und Beugungskoeffizienten.....	20
4) Immissions- und Versorgungssituation in Liechtenstein	21
4.1. Farbskalen.....	21
4.1.1. Feldstärke	21
4.1.2. Empfangspegel	21
4.2. Bestehende Standorte.....	22
4.2.1. Gesamtfeldstärke	22
4.2.2. Inlandsbeitrag	23
4.2.3. Auslandsbeitrag.....	26
4.2.4. Vergleich Inland-Ausland	28
4.2.5. Fazit.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4.2.6. Problematik des Reliefs.....	30
4.2.7. Versorgung Inlandsbeitrag	32
4.2.8. Versorgung Auslandsbeitrag	37
4.2.9. Fazit.....	39
4.3. Randbedingungen für Alternativkonzepte	39
4.3.1. Einbuchungsverhalten der Mobiltelefone	39
4.3.2. Zusammenfassung der Problematik	43
4.4. Alternativkonzept.....	44
4.4.1. Gesamtfeldstärke	45
4.4.2. Versorgung am Beispiel GSM 900	47
4.4.3. Fazit.....	48

5) <i>Immissions- und Versorgungssituation im Gebiet Steg - Malbun</i>	49
5.1. Ist-Situation Steg - Malbun	49
5.1.1. Gesamtfeldstärke	50
Allgemeine Anmerkungen	50
Situation in Steg - Malbun	50
5.1.2. Versorgung	53
5.2. Alternative Standorte	54
5.2.1. Gesamtfeldstärke	55
Szenario A	55
Szenario P.....	57
5.2.2. Versorgung	59
Szenario A	59
Szenario P.....	62
5.2.3. Vergleich der bestehenden Immission mit den Alternativszenarien	63
Szenario A	63
Szenario P.....	63
6) <i>Diskussion von Niedrigleistungsszenarien</i>	64
6.1. Farbskalen	64
6.1.1. Feldstärke	64
6.1.2. Empfangspegel	65
6.2. Rechnerische Abschätzung	66
6.2.1.....	66
6.3. Szenarien	67
6.3.1. Szenario A	67
mit den Standorten P2 und P3	67
6.3.2. Szenario B	70
mit den Standorten N1, N2 und N3.....	70
6.4. Beitrag der Mobiltelefone	73
6.4.1. Szenario	73
6.4.2. Abschätzung des Telefonieraufkommens	73
6.4.3. Auswertung	73
Zusammenfassung	77
6.4.4. Situation	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.4.5. Polycom.....	78
6.4.6. UKW-Rundfunk	79
7) <i>Zusammenfassende technische Bewertung</i>	81
7.1. Fazit	83
<i>Abbildungsverzeichnis</i>	84

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. Aber 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.

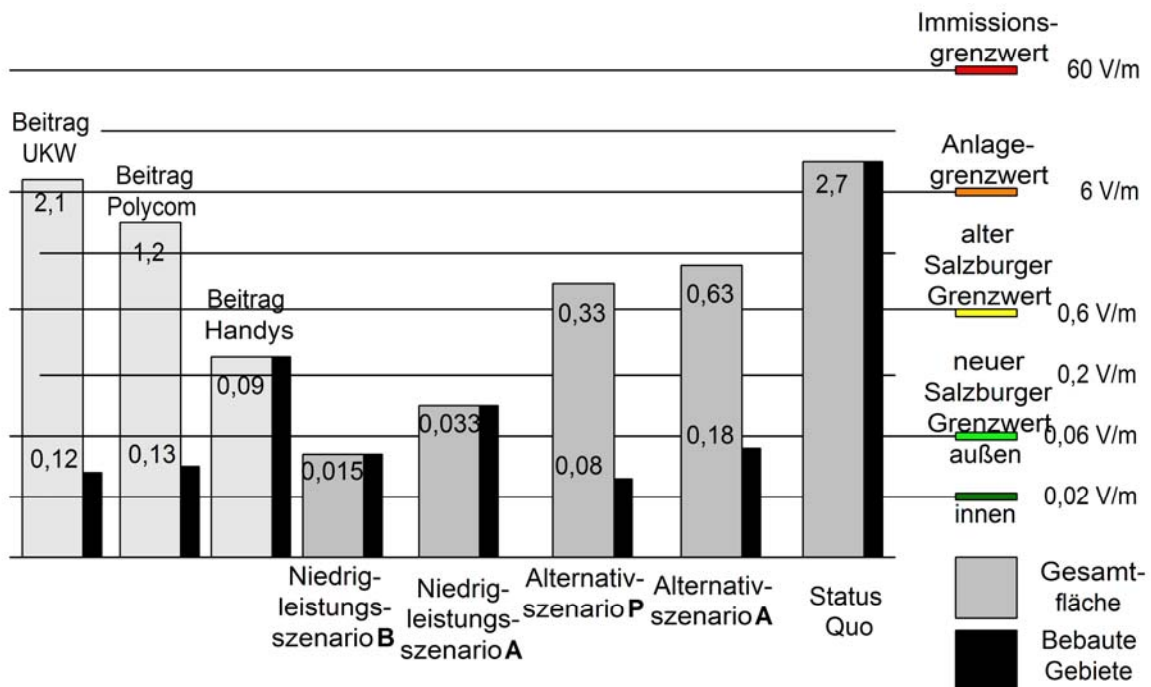
Die Immissionsbelastung durch die Mobilfunktelefone selbst und anderer hochfrequenter Immissionen ist nicht zu vernachlässigen. Ein Vorsorgewert von 0,02 V/m nur für Mobilfunk führt, angewendet auf Mobilfunkbasisstationen im Alpengebiet durch die bedingt höheren Leistungen der Endgeräte und Sender anderer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

Fazit:

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

2. Wirkliches Senkungspotential im gesamten Staatsgebiet besteht aufgrund der geringen Staatsgröße nur in Kooperation mit den Nachbarländern. Einen Ausblick auf die Größenordnung der 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 Standortzenario A oder P bedeutet nicht nur einen 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.



Schematischer Vergleich der mittleren Feldstärke in Varianten, siehe Abb.43

2) Rahmenbedingungen

2.1. Fragestellungen

Nachdem im ersten Teil der Studie die Aufgabenstellung detailliert beschrieben, theoretische Ansätze für den Immissionsschutz diskutiert, und die Situation Liechtensteins hinsichtlich Topographie, Morphologie und die Situation als Grenzland herausgearbeitet wurden, befasst sich der zweite, zentrale Teil der Studie mit der technischen Auswertung der Ist-Situation und der Betrachtung von Alternativszenarien.

Dabei werden Antworten bzw. Lösungsansätze für die in der Beauftragung der Studie durch die Regierung des Fürstentums Liechtenstein gestellten Aufgabenstellung bzw. Fragen gesucht.

Insbesondere waren folgende Fragestellungen definiert (Zitat aus der Auftrags-Vergabe):

- Gegenüberstellung von verschiedenen Standortszenarien und Alternativen unter Berücksichtigung einer möglichst geringen Exposition durch nicht-ionisierende Strahlung.
- Berücksichtigung von diversen diskutierten Grenzwerten, insbesondere eines Salzburger Grenzwertes von z.B. 1 mW/m^2 , der generell nicht überschritten werden darf, oder alternativ der Festlegung von flächenhaften Grenzwerten, die in bestimmten Gebieten nach der Nutzungsart max. zulässig sind.
- Untersuchung einer Konzeption, die Siedlungen im Berggebiet derart zu versorgen, dass Telefonieren nur im Freien möglich ist, und nicht besiedelte Gebiete im Berggebiet nur minimal versorgt werden.
- Untersuchung bzgl. des Einflusses und der Befeldung von Mobilfunkstationen angrenzender Staaten.
- In einem Zusatzauftrag wurde noch ein weiteres Alternativszenario im Gebiet Steg - Malbun, die Überprüfung eines Grenzwertes von 0.02 V/m sowie die Berücksichtigung von UKW und Polycom (Polizeifunk) im Gebiet Steg – Malbun festgelegt.

2.2. Datenmaterial

Um einen Überblick über die Ist-Situation in Liechtenstein zu erlangen, wurde der Status Quo der Liechtensteiner Netze erfasst.

Für **sämtliche Liechtensteiner Standorte** lagen uns detaillierte Angaben vor. Weiterhin wurden die Anlagen im Rahmen der Messkampagne besucht und die Angaben verifiziert. Die Anlagen wurden in ein **detailliertes 3D Gebäude- und Geländemodell** von Liechtenstein übertragen. Weiterhin wurden **grenznahe Schweizerische und Österreichische Standorte** berücksichtigt und ebenfalls in ein **erweitertes Geländemodell** integriert.

Zur Vorbereitung einer Prädiktion durch ein entsprechendes Tool muss dieses geeicht werden. Dafür wurden umfangreiche **Messungen**, in unterschiedlichem Abstand von den Funkmasten über das gesamte Staatsgebiet verteilt, durchgeführt. Eine ausführliche Dokumentation dieser Messungen befindet sich im dritten Teil dieser Studie, der Dokumentation der Messdaten. Der Vorgang der Eichung wird im Kapitel II detailliert beschrieben.

Folgende Liechtensteiner Standorte wurden von uns im Rahmen dieser Studie mit Stichtag 15. Januar 2005 berücksichtigt (**Abb. 1**):

Nr.	Standort/Bezeichnung	Kurzbeschreibung
1	Balzers Unaxis	Dachstandort auf Flachdach mit Aufbauten
2	Balzers Neugrüt	Zentralmast auf Flachdach
3	Triesen Swarovski	Zentralmast am Dachrand einer Industriehalle
4	Tunnel Portal West	Tunnel Portal zur Einfahrt ins Alpengebiet, Mast rechts am BR-Gebäude
5	Tunnel Portal West (Repeater)	Empfangsantenne an Mast 4, Sendeantenne über Tunneleinfahrt
6	Tunnel Portal Ost	Mast am Talboden bei Tunnelausfahrt
7	Sücka (Repeater)	Mast unterhalb Berggrat
8	Malbun	Mast auf Parkplatz Malbun
9	Vaduz Gerster Beton	2 Masten als Aufbau auf Stahlkonstruktion
10	Vaduz Postgebäude	Zentral auf Dach eines in der Ortsmitte gelegenen Gebäudes
11	Vaduz Erbi	Rundfunkmast hoch über dem Schloss Vaduz
12	Vaduz LTN	Zentralmast auf Dach des Telekomgebäudes
13	Schaan Buurabund	2 Masten auf Silo
14	Schaan Hilcona	Dachstandort auf Hallendach mit Aufbauten
15	Schaan Wiesengasse	Mast nahe dem Rheinufer bei Bahnbrücke (nahe dem Sportgelände)
16	Bendern Rheinbrücke	Mast in der Nähe des Rheinufers an Verkehrskreuzung
17	Ruggell Pantec	Mast nahe dem Rheinufer, 2 Masten auf Flachdach von Industriegebäude
18	Eschen Zentrum	Mast auf Gebäudedach eines Einkaufszentrums
19	Mauren Silo Näscher	Antennen am landwirtschaftlichen Silo
20	Mauren MSC Mobilcom	Dachstandort am Rande eines Hallendachs
21	MZA Nendeln	Mast im Wald am Hang

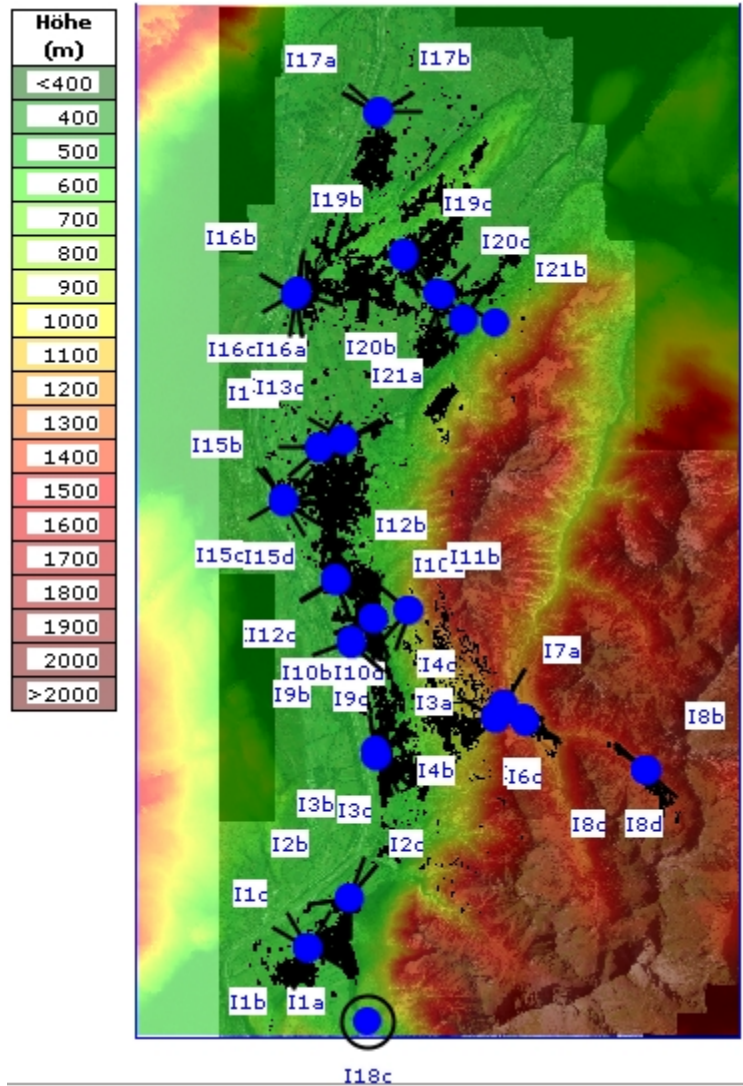


Abb. 1: Lage der Funkanlagen im Staatsgebiet von Liechtenstein. Das Bild umfasst ein Gebiet von 12.6 * 25.1 km

2.3. Definitionen

Im Folgenden geht es u.A. um die Einstufungen von Immissionen ober- oder unterhalb gewisser Grenzwerte bzw. Vorsorgewerte. Um Missverständnissen von vornherein vorzubeugen, finden sich hier die genaue Definition der verwendeten Begriffe.

Gesetzliche Grundlage zur Immissionsbegrenzung in Liechtenstein ist die Verordnung vom 21. November 2000 über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung ortsfester Sendeanlagen von Telekommunikationssystemen, LGBI. 2000 Nr. 231. Sie lehnt sich weitestgehend an die Schweizer Bestimmungen an.

Der Begriff Immissionsgrenzwert wird in dieser Studie exakt so verwendet, wie er in den Artikeln 16, 18 und 19 der Liechtensteiner Verordnung geregelt und quantifiziert ist.

2.3.1. Immissionsgrenzwert, OKA, OMEN, Anlagengrenzwert

Der Immissionsgrenzwert ist ein Grenzwert für die effektive Feldstärke resultierend aus der Gesamtimmission von ortsfesten Sendeanlagen. Dieser darf grundsätzlich nirgends überschritten werden, wo sich Menschen aufhalten können (Orte für den kurzfristigen Aufenthalt, OKA).

Die Grenzwerte können für die hier interessierenden Mobilfunkfrequenzbereiche nach Art. 18 der Verordnung in Anlehnung an die ICNIRP- bzw. EU-Empfehlung folgendermaßen quantifiziert werden:

Frequenzbereich [MHz]	Immissionsgrenzwert [V/m]	Immissionsgrenzwert [mW/m ²]
900	61	4500
1800	58	9000
2000	61	10000

Sind Immissionen aus mehreren Frequenzbereichen gleichzeitig vorhanden, müssen diese nach Art. 19 der Verordnung aufsummiert und gemeinsam betrachtet werden.

Für besonders sensible Orte, Orte mit empfindlicher Nutzung - kurz OMEN genannt - gilt eine besondere und enger gefasste Regelung.

Orte, die OMEN sind, werden in Art. 3 Absatz 1 der Verordnung wie folgt definiert:

„Als Orte mit empfindlicher Nutzung gelten:

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

Für OMEN gilt ein Vorsorgegrenzwert, der sogenannte Anlagengrenzwert.

Dieser Vorsorgewert liegt niedriger als der Immissionsgrenzwert.

Der Anlagengrenzwert regelt die maximal von einer Anlage ausgehende Gesamtmission in ein OMEN- Gebiet. Er ist in Art. 11 der Verordnung wie folgt definiert.

„Anlagengrenzwert:“

Der Anlagengrenzwert für den Effektivwert der elektrischen Feldstärke beträgt:

- a) für Anlagen, die ausschließlich im Frequenzbereich um 900 MHz senden: 4,0 V/m;
- b) für Anlagen, die ausschließlich im Frequenzbereich um 1800 MHz oder in einem höheren Frequenzbereich senden: 6,0 V/m;
- c) für Anlagen, die sowohl in Frequenzbereichen nach Bst. a als auch nach Bst. b senden: 5,0 V/m.

Dieser Vorsorgewert muss gemäss Verordnung nur in OMEN Gebieten, nicht überall eingehalten werden!

In der Studie wird dieser Vorsorgewert in Übereinstimmung mit der Verordnung einheitlich Anlagengrenzwert genannt. Dieser beträgt ca. 10% der Feldstärke des Immissionsgrenzwertes bzw. ca. 1% der maximal erlaubten Leistungsflussdichte.

Frequenzbereich [MHz]	Anlagengrenzwert [V/m]	Anlagengrenzwert [mW/m ²]
900	4	40
1800	6	100
2000	6	100
900 + 1800	5	70

2.3.2. Vorsorgewerte, z.B. sog. „Salzburger Grenzwerte“

Die Salzburger Grenzwerte bzw. Vorsorgewerte gehen zurück eine Internationale Konferenz in Salzburg mit dem Titel „Situierung von Mobilfunksendern- Wissenschaft & Öffentliche Gesundheit“ vom 7. -8. Juni 2000¹. Diese Konferenz gründet auf eine Initiative von Dr. med. Oberfeld von der Landessanitätsdirektion Salzburg und Univ. Prof. Dr. Michael Kundi von der Universität Wien, Institut für Umwelthygiene.

¹ Eine Darstellung der Geschichte der Salzburger Bemühungen findet sich wieder unter <http://www.salzburg.gv.at/konferenzbericht.html> bzw. weitere Übersicht unter www.salzburg.gv.at/celltower worauf das Schweizer BUWAL verlinkt unter http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_nis/kontakte/links/index.html . Da das eigentliche Salzburger Modell in den Jahren 1998 bis 2000 stattgefunden hat, aber noch heute im Jahre 2005 darüber unterschiedliche Sichtweisen kursieren, sei auf die Darstellungen der Schweizer BAKOM unter <http://www.bakom.ch/de/funk/elektromagnetisch/immission/index.html> verwiesen und auf die jüngste Zusammenfassung des Landes Salzburg unter http://www.salzburg.gv.at/konfliktmanagement_salzburger_modell.pdf

Dabei wurde lediglich der „alte Salzburger Grenzwert“, der die Gesamtimmission elektromagnetischer Strahlung auf 1mW/m² bzw. 0,614 V/m unabhängig von der Frequenz begrenzt, bilateral mit einem der Betreiber verbindlich vereinbart und praktisch in Teilen des Salzburger Mobilfunknetzes erprobt.

Wir verwenden in dieser Studie einheitlich den Begriff „**alter Salzburger Grenzwert**“.

Inzwischen gibt es, wiederum initiiert von der Salzburger Landessanitätsdirektion die Forderung nach noch tieferen Vorsorgewerten, wobei in Skalen der Leistungsflussdichte eine weitere Reduzierung um den Faktor 10 als Minimalziel und um einen Faktor 100 aus medizinischer Sicht anzustreben sei.

Grenz- u. Richtwerte	[mW / m²]	[µW / m²]
ICNIRP / WHO / EU-Ratsempfehlung (1800 MHz zB GSM)	9 000	9 000 000
Deutschland (1800 MHz z.B. GSM)	9 000	9 000 000
Belgien (exklusive Wallonien)	1 115	1 115 000
Wallonien	24	24 000
Österreich	-	-
Russland (Summe Hochfrequenz)	100	100 000
China (Summe Hochfrequenz)	100	100 000
Schweiz (je GSM-Mobilfunkanlage 1800 MHz) (Innen)	95	95 000
Liechtenstein (je GSM-Mobilfunkanlage 1800 MHz) (Innen)	95	95 000
Luxemburg	95	95 000
Italien (Summe Hochfrequenz)	100	100 000
Italien (Qualitätsziel je Anlage)	1	1000
Wien (Gemeindebauten Summe GSM, Innen u. Außen)	10	10 000
Salzburg 1998 (Summe GSM Außen)	1	1000
EU-Parlament, GD Wissenschaft, STOA zu GSM (2001)	0,1	100
Salzburg 2002 (Summe GSM Außen)	0,01	10
Salzburg 2002 (Summe GSM Innen)	0,001	1
Standard der Baubiologie 2003 für gepulste Strahlung für Schlafbereiche (Innen)		
Extreme Anomalie	>0,1	> 100
Starke Anomalie	0,1-0,005	100-5
Schwache Anomalie	0,005-0,0001	5-0,1
Keine Anomalie	0,0001	0,1
Bürgerforum „Elektrosmog“ d. BMU BRD (1999) Wachbereich (Innen)	0,001	1
Bürgerforum „Elektrosmog“ d. BMU BRD (1999) Schlafbereich (Innen)	0,00001	0,01

Technik			
Konzessionsbedingung Mindestversorgungspegel Schweiz (i. Freien)	GSM 900 GSM 1800	0,000 000 084 0,000 000 334	0,000 084 0,000 334
Belastung durch DECT-Schnurlostelefon in 1,5 m Entfernung		11	11 000

Tabelle Grenz- und Richtwerte hochfrequente Strahlung (Auswahl)²

Diese Vorsorgewerte wurden bisher nach unseren Informationen noch nirgends auf ihre Machbarkeit praktisch getestet. In der Studie werden diese Grenzwerte trotzdem als Vergleichsskala in den folgenden Immissionsplots verwendet.

In der Literatur spricht man von den „**neuen Salzburger Grenzwerten**“ **outdoor und indoor**, diese Nomenklatur übernehmen wir für diese Studie.

Bezeichnung	Grenzwert [V/m]	Grenzwert [mW/m ²]
Alter Salzburger Grenzwert	0,6	1
Neuer Salzburger Grenzwert outdoor	0,06	0,1
Neuer Salzburger Grenzwert indoor	0,02	0,01

2.3.3. Betreiber, Versorgungsplots, Feldstärkeplots

In Liechtenstein gibt es folgende Betreiber:

- Mobilcom Liechtenstein AG
- Orange Liechtenstein AG
- Swisscom Mobile AG
- Tele2 AG / Tango

Diese sind auf sämtlichen Darstellungen von Feldstärke- und Empfangspegelverteilungen anonymisiert wiedergegeben. Die verwendeten Pseudonyme (Betreiber A, B, C, D) entsprechen nicht der obigen Reihenfolge!

Feldstärkeplots geben für jedes Pixel des untersuchten Gebietes die zu erwartende Immission in V/m an. Sie beruhen durchwegs auf sogenannten **Worst-Case-Szenarien**, d.h. es wird angenommen, dass alle Betreiber gleichzeitig alle Transceivermodule mit voller genehmigter Leistung fahren. Dabei wird für ganz Liechtenstein angenommen dass pro Standort 8 GSM- und 4 UMTS Transceiver aktiv sind.

Versorgungsplots geben für jedes Pixel des untersuchten Gebiets den zu erwartenden Empfangspegel in dBm an.

² Quelle Landessanitätsdirektion Salzburg, download als Infoblatt <http://www.salzburg.gv.at/grenz-und-richtwerte-hochfrequenz-2.doc> unter http://www.salzburg.gv.at/themen/gesundheit/umweltmedizin/elektrosmog/elektrosmog_und_gesundheit/info_blaetter.htm, Stand November 2003

Da zu einer bestimmten Zeit jedem Mobiltelefon nur jeweils 1 Sende- und Empfangsfrequenzband zugeordnet ist, ist bei diesen Plots nur jeweils 1 Transceivermodul pro Sektor berücksichtigt.

Die Versorgungsplots machen nur eine Aussage darüber, ob der Empfangspegel für eine stabile Verbindung ausreichend ist. Sie enthalten keinerlei Information darüber, welches Verkehrsaufkommen aufgrund der Anzahl vorhandener oder für Alternativszenarien angenommener Transceivermodule bewältigt werden kann. Es wird also keine Aussage über die Kapazität des vorhandenen bzw. eines alternativen Mobilfunksystems getroffen.

3) Eichung des Prädiktionstools

3.1. Das verwendete Prädiktionstool

Im Rahmen dieser Studie wird ein Prädiktionstool verwendet, das nach dem Prinzip des Ray Launching arbeitet.

Die an für sich kontinuierliche Emission eines Senders wird durch diskrete, geometrische Strahlen modelliert, welche über alle Reflektionen und Beugungen hinweg verfolgt werden. Trifft ein solcher Strahl die Empfangsebene, so wird dessen Feldstärke dort festgehalten. Um die Empfangsebene auch in weiterer Entfernung und in Gebieten ohne direkte Sicht zum Sender hinreichend dicht mit solchen Strahlen zu treffen, ist es notwendig, sehr viele Strahlen vom Sender aus zu emittieren und keine Beugungs- oder Reflektionsquellen zwischen zwei mit festem Raumwinkel auseinanderdriftenden Strahlen zu übersehen. Dies wird durch eine Aufteilung des dreidimensionalen Gesamtgebietes in ein regelmäßiges Gitter gleichgroßer Würfel verhindert. Vom Sender aus werden Strahlen zu jedem Würfel geschickt. Damit sind automatisch genügend Strahlen vorhanden, welche die Empfangsebene gleichmäßig durchstoßen. Weiterhin kann keine Beugungs- oder Reflektionsquelle übersehen werden, da bei jeder Beugung bzw. Reflektion Strahlen zu allen Würfeln im jeweiligen Beugungskegel bzw. in der zugehörigen Reflektionsebene geschickt werden. Das Ergebnis ist eine sehr genaue Prädiktion der empfangenen Feldstärke.

Das Prädiktionstool erzeugt dreidimensionale Strahlenwege, die Richtungsänderungen durch Beugung bzw. Reflektion erfahren. Zusätzlich tritt für jeden Strahlenweg eine Feldstärkedämpfung auf, die sich aus mehreren Komponenten zusammensetzt. Der Strahl erfährt eine Dämpfung bereits durch seine Weglänge. Diese wird aus dem Friis-Freiraummodell bestimmt und ist im Wesentlichen proportional der Entfernung hoch Path-Loss-Exponent. Dieser Exponent ist ein frei einstellbarer Prädiktionstool-Parameter. Zusätzlich erfährt der Strahl Dämpfungen bei jeder Richtungsänderung, also bei jeder Beugung bzw. Reflektion. Diese Zusatzdämpfungen setzen sich aus zwei Komponenten zusammen, welche durch je einen Prädiktionstool-Parameter für eine pauschale Dämpfung und einen weiteren für eine winkelabhängige Dämpfung beschrieben werden. Hierbei gibt es Prädiktionstool-Parameter für Erd-, Wand- und Dachbeugung sowie für Reflektion. Die durch Wandpenetration (in-door) entstehende Zusatzdämpfung kann durch einen weiteren Prädiktionstool-Parameter modelliert werden.

Um die oben beschriebenen „Stellschrauben“ des Systems genau einstellen zu können, muss das Prädiktionstool geeicht werden, denn unterschiedliche Arten der Bebauung und der Topographie erfordern eine Adaption der Prädiktionstool-Parameter. Diese sind aufbauend auf durchgeführte Messungen so einzustellen, dass die Prädiktion eine möglichst gute Übereinstimmung mit den gemessenen Werten liefert.

3.2. Prinzip der Eichung

Die Eichung des Prädiktionstools erfolgt, wie bereits oben erwähnt dadurch, dass die Modellparameter (Freiraumausbreitungskoeffizient, Reflektions- und Beugungskoeffizienten) solange variiert werden, bis bei möglichst geringer Streuung im Mittel die vorhergesagten Empfangspegel mit den gemessenen übereinstimmen.

Dabei zeigt die Erfahrung, dass für ein gutes Eichergebnis verlässliche Standortdaten durch die Betreiber und genügend im betrachteten Gebiet verstreute Messpunkte vorliegen müssen. Dies vorausgesetzt, wird eine Standardabweichung bezüglich der Gesamtheit der Messpunkte von der Eichgeraden von unter 1.5 dB angestrebt. Einzelmessungen dürfen dabei um bis zu 10 dB von der Eichgeraden abweichen.

3.3. Klassifikation der Frequenzkanäle

Zur Eichung dürfen nur BCCH-Kanäle verwendet werden. Diese werden von der Basisstation stets mit maximaler Sendeleistung bedient. Andere Kanäle sind nicht geeignet, da sie im allgemeinen einer Leistungsregelung unterliegen, d.h. keine konstante Sendeleistung garantieren.

Für alle im Rahmen dieser Studie untersuchten Standorte waren die Kanalnummern gegeben, nicht aber die BCCH-Eigenschaft. Aufgrund der konstanten, maximalen Sendeleistung ist jedoch der BCCH-Kanal ausnahmslos der stärkste Kanal eines Sektors. Zudem liegen für einen solchen der mittlere (Average Mode) und maximale (Max Hold Mode) Empfangspegel nahe beieinander, wohingegen bei einem gewöhnlichen Kanal der Maximalpegel meist weit über dem Mittleren liegt. Nahe an einer Basisstation durchgeführte Messungen ermöglichen somit eine klare Unterscheidung zwischen BCCH und gewöhnlichem Kanal.

3.4. Problematik der Wiederverwendung der BCCH-Kanäle

Erste Eichversuche zeigten unabhängig von der Einstellung der Modellparameter eine sehr große Streuung zwischen vorhergesagten und gemessenen Empfangspegeln (Abb.2). All diesen ist gemeinsam, dass eine starke Ausfransung nach unten auftritt, d.h. das Prädiktionstool sagt häufig trotz eines deutlich messbaren Signals einen sehr niedrigen Empfangspegel voraus. Die Vorhersagen sind jedoch sehr plausibel, da die betroffenen Messpunkte entweder weit entfernt von der Basisstation oder im Rücken der Hauptkeule liegen.

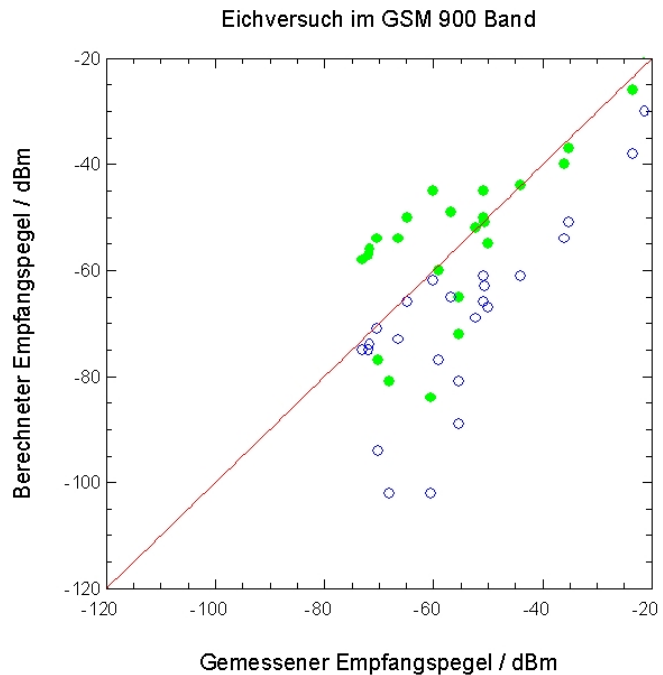


Abb.2: Eichversuch für den Standort Schaan-Wiesengasse, gerechnet mit Freiraumausbreitungskoeffizienten = 2.0 (volle Kreise) und 2.5 (leere Kreise). In beiden Fällen wird nicht selten ein sehr niedriger Pegel vorhergesagt, obwohl ein klar messbares Signal vorliegt. Der umgekehrte Fall (zu hoch vorhergesagter Pegel) tritt hingegen nicht auf.

Die starke Ausfransung nach unten lässt sich aber durch eine erneute Benutzung der gemessenen BCCH-Kanäle an grenznahen Auslandsstandorten erklären. Die Immission durch solche Standorte reicht oft sehr weit und kann nahezu das gesamte Staatsgebiet Liechtensteins überdecken (Abb. 3). Im Falle des hier gezeigten Eichversuchs werden die gemessenen BCCH-Kanäle von zwei unmittelbar linksrheinischen Standorten wiederverwendet.

Für die grenznahen Auslandsstandorte waren ebenfalls die Frequenzkanäle gegeben, jedoch erneut ohne die BCCH-Eigenschaft. Damit war es nicht möglich, diese Standorte in die Eichprädiktionen einzubeziehen (dies hätte weitere Messungen im Umkreis der Auslandsstandorte erfordert). Um dennoch eine von Auslandseinstrahlung ungestörte Eichung durchführen zu können, wurden daher nur solche BCCH-Frequenzen akzeptiert, welche weder hinter der Schweizerischen noch Österreichischen Grenze wiederverwendet werden.

Außerdem werden besonders im GSM 900 Band BCCH-Frequenzen nicht nur als BCCHs, sondern auch als gewöhnliche Kanäle wiederverwendet. Diese Kanäle müssten für die Eichung ebenfalls ausselektiert werden, wonach jedoch zu wenige ungestörte Messpunkte übrig blieben. Um dennoch genügend Messpunkte für die Eichung zur Verfügung zu haben, wurde für die Eichprädiktionen der Bereich um die Basisstationen auf 5 km in Hauptkeulenrichtung und 1 km in Gegenrichtung eingeschränkt. In diesem Umkreis kann die Verfälschung der Messergebnisse durch Frequenzwiederverwendung vernachlässigt werden. Im GSM 1800 Band stehen genügend völlig ungestörte BCCHs zur Verfügung.

Für die Berechnungen des Ist-Zustandes und von Alternativszenarien wurde im Allgemeinen ein Bereich von 5-15 km um die Basisstationen untersucht.

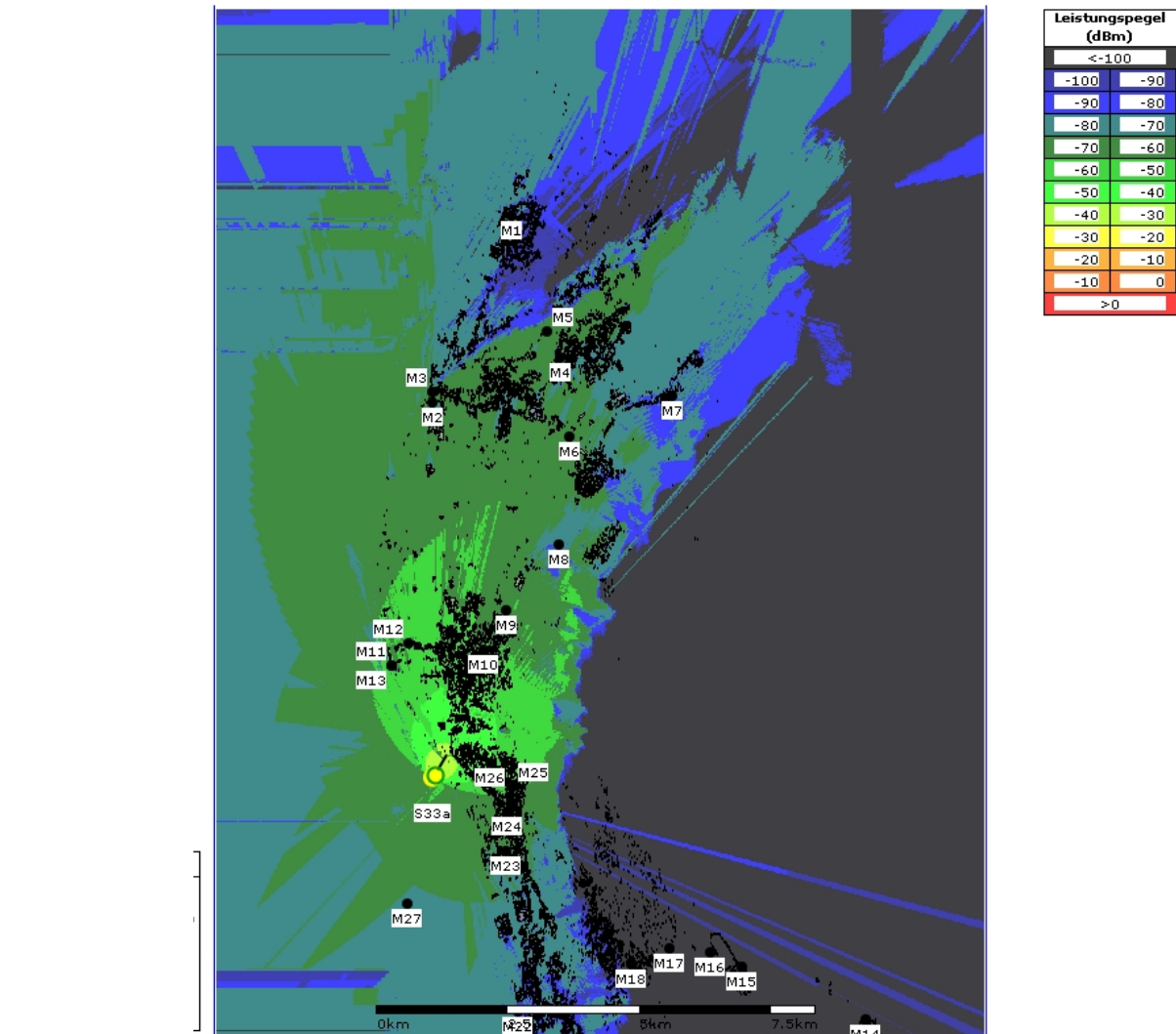


Abb. 3: Ausbreitungsplot für einen grenznahen Schweizer Standort. In Richtung der Hauptkeule wird noch in etwa 10-15 km ein Empfangspegel von über -70 dBm vorhergesagt, welcher Indoor-Versorgung garantiert. Die Artefakte im Westen und Norden sind durch fehlende topographische Angaben bedingt.

3.5. Freiraumausbreitungskoeffizient

3.5.1. GSM 1800 Band

Nach der oben beschriebenen Aussortierung der BCCHs kann die eigentliche Eichung durchgeführt werden. Die Modellparameter werden festgelegt, in dem zunächst mehrere Eichprädiktionen mit sehr unterschiedlichen Parametereinstellungen durchgeführt und mit den Messungen verglichen werden. Abb. 4 zeigt, dass mit einem Freiraumausbreitungskoeffizienten von 2.0 das Prädiktionstool im Mittel etwas zu hohe Empfangspegel vorhersagt (+ 3.5 dB),

wohingegen mit einem Koeffizienten von 2.5 die vorhergesagten Empfangspegel viel zu niedrig sind (-12.7 dB).

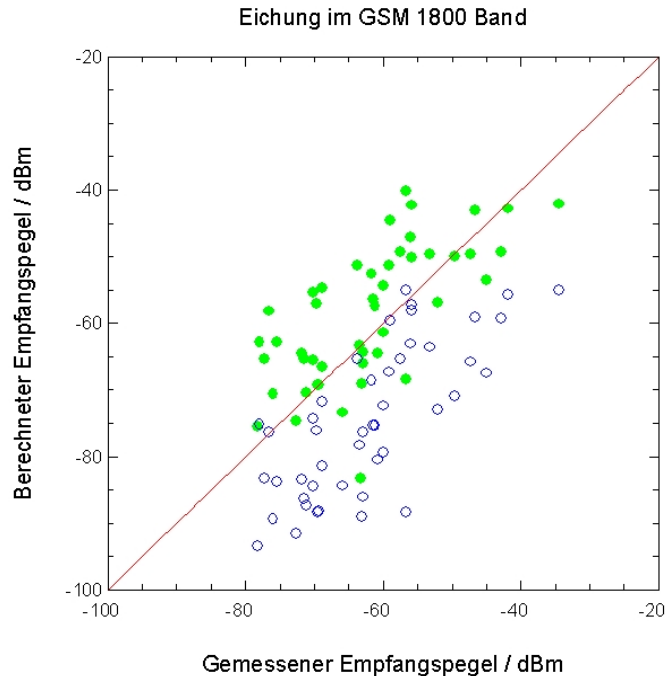


Abb. 4: Grobeichung des Freiraumausbreitungskoeffizienten für das GSM 1800 Band. Volle Kreise entsprechen dem Wert 2.0 (im Mittel etwas zu hoch vorhergesagte Pegel), leere dem Wert 2.5 (im Mittel viel zu niedrig vorhergesagte Pegel).

Durch weitere Prädiktionsrechnungen und Interpolation der Ergebnisse erhält man einen Freiraumausbreitungskoeffizienten von 2.11.

Die mit dieser Einstellung vorgenommene Prädiktion stimmt in der Tat im Mittel völlig mit den Messwerten überein (siehe Abb. 5).

Dieses Resultat bedeutet jedoch nicht, dass in Liechtenstein die Wellenausbreitung nahezu unter Vakuumbedingungen (klassischer Koeffizient = 2.00) verläuft. Im Gegensatz zu einfachen Ausbreitungsmodellen sind im Freiraumausbreitungskoeffizienten des Prädiktionstools Reflexion und Beugung nicht enthalten, wodurch sich zwangsläufig ein niedrigerer Wert im Vergleich zu den einfachen Modellen ergibt. Die Koeffizienten für Reflexion und Beugung werden analog dem obigen Vorgehen optimal eingestellt.

Vergleicht man die von wiederverwendeten Frequenzen ungestörte Eichung (Abb. 5) mit dem oben erwähnten gestörten Eichversuch (Abb. 4), so erkennt man, dass keine nach unten ausreißenden Messpunkte mehr auftreten. Die Streuung wird deutlich verringert und damit die Qualität der Prädiktion entsprechend erhöht.

Im GSM 1800 Band beträgt nach bester Einstellung des Prädiktionstools die Abweichung für einen einzelnen Messpunkt ca. 6 dB. Betrachtet man die Gesamtheit aller Messpunkte, so liegt der Fehler des Prädiktionstools bei nur ca. 1 dB.

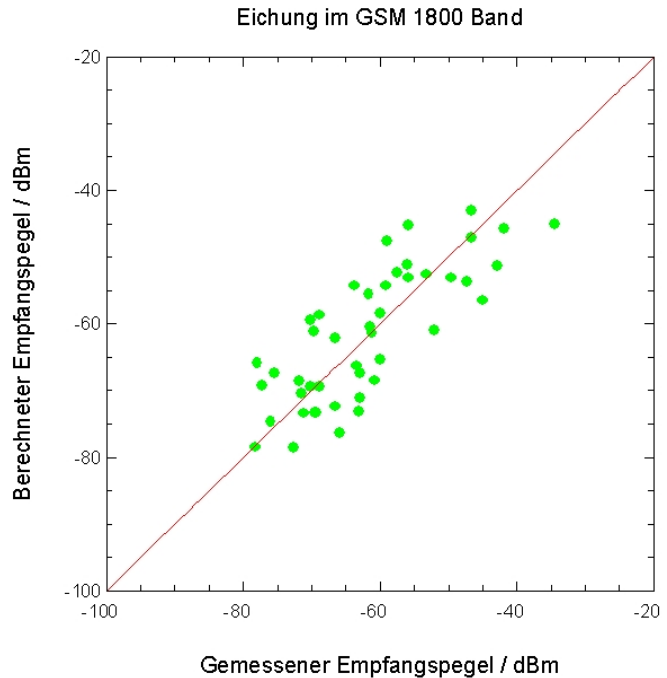


Abb. 5: Feineichung des Freiraumausbreitungskoeffizienten für das GSM 1800 Band. Mit einem Freiraumausbreitungskoeffizienten von 2.11 stimmen Mess- und Vorhersagewerte im Mittel völlig überein. Durch das Aussortieren der wiederverwendeten BCCHs tritt keine systematische Abweichung nach unten mehr auf.

3.5.2. GSM 900 Band

Das Vorgehen ist das gleiche wie im GSM 1800 Band. Wegen der oben geschilderten Problematik (auch für gewöhnliche Verkehrskanäle wiederverwendete BCCH Frequenzen) und des deshalb eingeschränkten Umkreises um die (nicht auch noch von Auslandseinstrahlung betroffenen) Basisstationen stehen jedoch weniger Messpunkte zur Verfügung.

Der Freiraumausbreitungskoeffizient unterscheidet sich wie erwartet mit 2.20 nur wenig vom GSM 1800 Band. Mit einer maximalen Abweichung von 6 dB eines einzelnen Messpunktes und eines mittleren Fehlers von ca. 1 dB ist die Eichung von exakt gleicher Qualität (siehe Abb. 6).

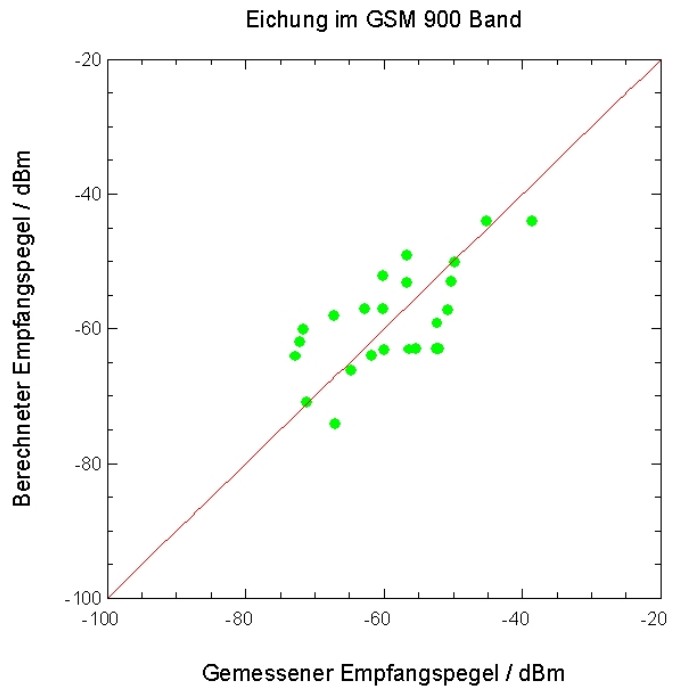


Abb. 6: Feineichung des Freiraumausbreitungskoeffizienten für das GSM 900 Band. Mit einem Freiraumausbreitungskoeffizienten von 2.20 stimmen Mess- und Vorhersagewerte im Mittel völlig überein. Durch das Aussortieren der im Ausland wiederverwendeten BCCHs und die Einschränkung des Umkreises um die Basisstationen tritt keine systematische Abweichung nach unten mehr auf.

3.6. Reflektions- und Beugungskoeffizienten

Obwohl Reflektion und Beugung wellenlängenabhängig sind, zeigte sich, dass die entsprechenden Koeffizienten für beide GSM-Bänder mit den gleichen Werten die besten Ergebnisse lieferten. Ohnehin ist ihr Einfluss auf die Prädiktion wesentlich geringer als derjenige des Freiraumausbreitungskoeffizienten. Ändert man z.B. den Reflektionskoeffizienten 0.ter Ordnung von 13 nach 20, so bewirkt dies eine mittlere Verringerung der vorhergesagten Empfangspegel von gerade etwa 2 dB. Eine Änderung des Wandbeugungskoeffizienten 0.ter Ordnung von 4 nach 10 senkt die Empfangspegel im Mittel um etwa 3 dB. Die gleiche systematische Verschiebung der Prädiktion wird jedoch schon bei einer Änderung des Freiraumausbreitungskoeffizienten um nur 0.1 bewirkt. Es zeigt sich jedoch, dass die Streuung der einzelnen Messpunkte bei optimaler Einstellung der Werte weiter – wenn auch nur in geringem Umfang - optimiert werden konnte.

Für die Berechnung der gegenwärtigen Immissionen, als auch von Alternativszenarien werden folgende Koeffizienten verwendet:

	0. Ordnung	1. Ordnung	2. Ordnung
Reflektion	16.3226	0.1300	-0.0028
Wandbeugung	7.4191	0.3534	-0.0029
Dachbeugung	1.4562	0.4022	-0.0022

4) Immissions- und Versorgungssituation in Liechtenstein

4.1. Farbskalen

4.1.1. Feldstärke

Für die Darstellung von Feldstärkeverteilungen in den folgenden Plots wird folgende Farbskala verwendet (Abb. 7), wobei die Farben dabei folgenden Grenzwerten entsprechen:

Farbe	Grenzwert überschritten
Rot	Immissionsgrenzwert Liechtenstein
Orange	Anlagengrenzwert Liechtenstein
Gelb	Alter Salzburger Grenzwert (0,61 V/m)
Gelbgrün	Neuer Salzburger Grenzwert outdoor (0,2 V/m)
Hellgrün	Neuer Salzburger Grenzwert indoor (0,06 V/m)
Dunkelgrün	Grenze für stabilen Indoor-Empfang
Hellblau	Grenze für stabilen Outdoor-Empfang

Feldstärke (V/m)	
<0.000061	
0.000061	0.000610
0.000610	0.006100
0.006100	0.020000
0.020000	0.061000
0.061000	0.610000
0.610000	5.000000
5.000000	46.000000
>46.000000	

Abb. 7: Farbskala für Feldstärkeverteilungen

4.1.2. Empfangspegel

Für die Darstellung von Empfangspegel-Plots wird folgende Farbskala verwendet (Abb. 8). Die Grenze für stabilen Indoor-Empfang liegt bei ca. -70 dBm (dunkelgrün), für stabilen Outdoor-Empfang bei ca. -90 dBm (hellblau).

Leistungspegel (dBm)	
<-100	
-100	-90
-90	-80
-80	-70
-70	-60
-60	-50
-50	-40
-40	-30
-30	-20
-20	-10
-10	0
>0	

Abb. 8: Farbskala für Empfangspegelverteilungen

4.2. Bestehende Standorte

Auf der Grundlage der in den vorausgegangenen Kapiteln diskutierten Eichung des Prädiktionstools wurde die gegenwärtig zu erwartende Immission berechnet. Dabei wurden alle sich in Liechtenstein befindlichen als auch alle grenznahen Standorte in der Schweiz und Österreich berücksichtigt.

4.2.1. Gesamtfeldstärke

Das Prädiktionstool liefert eine Vorhersage für die mittlere zu erwartende Feldstärke. Aus der Eichung geht hervor, dass einzelne Messwerte auf der Empfangspegelskala mit einer Standardabweichung von 6 dB um den Mittelwert schwanken können. Auf der Feldstärkeskala entspricht dies einer Standardabweichung von 3 dB, was einem Faktor 2 entspricht. Selbst wenn die mittlere vorhergesagte Feldstärke einen bestimmten Wert nicht überschreitet, sind daher mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit Überschreitungen möglich.

Entspricht die vorhergesagte, mittlere Feldstärke exakt einem vorgegebenen Grenzwert, so beträgt die Überschreitungswahrscheinlichkeit genau 50 %. Liegt die mittlere Feldstärke um 3.8 dB (entspricht einem Faktor von 2.4) unter dem Grenzwert, so beträgt die Überschreitungswahrscheinlichkeit nur noch 10 %.

Der Berechnung wurden nicht die aktuellen Betriebsleistungen, sondern die um ca. einen Faktor 2 höheren genehmigten Leistungen zugrundegelegt. Außerdem wurde angenommen, dass alle Transceivermodule mit voller Betriebsleistung senden, also keine Leistungsregelung stattfindet. Unter diesen Prämissen sind keine höheren Feldstärken als die prognostizierten zu erwarten.

Im Folgenden bezieht sich die Studie flächendeckend auf den Anlagengrenzwert, wohl wissend, dass für nicht als OMEN definierte Gebiete eine ca. 10-fach höhere Feldstärke, d.h. 100-fach höhere Leistungsflussdichte zulässig ist.

4.2.2. Inlandsbeitrag

Die mittlere vorhergesagte Feldstärke überschreitet nirgends den Anlagengrenzwert von 5 V/m (Abb. 9).

Bei den meisten Standorten reicht die mittlere vorhergesagte Feldstärke bei weitem nicht an dieses Limit heran, so dass für diese nicht mit einer Überschreitung des Grenzwertes gerechnet werden muss (s. folgende Tabelle).

Bei drei Standorten, Tunnel Portal West, Tunnel Portal Ost und Malbun, wird punktuell im Mittel der Anlagengrenzwert jedoch fast erreicht. Es besteht damit an einzelnen Stellen eine gewisse Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung des Anlagengrenzwertes. Dies betrifft jedoch in keinem Fall „OMEN-Gebiete“ und ist somit nicht relevant.

Auf Malbun wird in einem gesonderten Kapitel detailliert eingegangen.

Im Falle des Standorts Tunnel Portal Ost dient die für die höhere Immission verantwortliche Antenne ausschließlich der Versorgung des Tunnels, so dass die höhere Feldstärke nur sehr punktuell am Tunnelende einwirkt. Es besteht an diesem OKA rechtlich indizierter Handlungsbedarf. Es bestünde aber z.B. die Möglichkeit, zur Versorgung des Tunnels statt der jetzigen Antennenlösung auch ein sog. „Leaking Cable“ einzusetzen. Damit könnte man, verbunden mit nicht unerheblichen Kosten, die Immission im Tunnel reduzieren.

Der Standort Tunnel Portal West dient der Versorgung der Siedlungsgebiete am Richtung Westen abfallenden Berghang. Jedoch sind schon die nächstgelegenen Gebäude genügend weit von der Basisstation entfernt, so dass dort die mittlere Feldstärke mit nur noch 0.3 V/m weit unter dem Anlagengrenzwert liegt und damit ebenfalls kein Handlungsbedarf besteht.

Nachfolgend werden für alle Liechtensteiner Standorte die jeweils höchste vorhergesagte mittlere Feldstärke bzw. der mit 90% Wahrscheinlichkeit nicht überschrittene Höchstwert aufgelistet. **Es soll ausdrücklich betont werden, dass in keinem Fall ein Überschreiten des Immissionsgrenzwertes vorhergesagt wird. In den Fällen, wo es theoretisch zu Überschreitungen des Anlagengrenzwertes kommen kann, sind lediglich OKA, keine OMEN-Gebiete betroffen!**

Nr.	Standort	Höchste mittlere vorhergesagte Feldstärke (V/m)	Mit 95% Wahrscheinlichkeit nicht überschrittene Feldstärke (V/m)
1	Balzers Unaxis	0.8	1.9
2	Balzers Neugrüt	1.6	3.8
3	Triesen Swarovski	1.3	3.1
4	Tunnel Portal West	4.2	10.0
5	Tunnel Portal West (Repeater)	0.1	0.2
6	Tunnel Portal Ost (Sektor 280 ⁰)	4.6	11.0
7	Sücka (Repeater)	0.1	0.2

8	Malbun	2.7	6.5
9	Vaduz Gerster Beton	1.3	3.1
10	Vaduz Postgebäude	1.4	3.4
11	Vaduz Erbi	0.7	1.7
12	Vaduz LTN	1.3	3.1
13	Schaan Buurabund	1.2	2.9
14	Schaan Hilcona	0.7	1.7
15	Schaan Wiesengasse	1.0	2.4
16	Bendern Rheinbrücke	0.6	1.4
17	Ruggell Pantec	0.6	1.4
18	Eschen Zentrum	1.1	2.6
19	Mauren Silo Näscher	1.5	3.6
20	Mauren MSC Mobilcom	1.1	2.6
21	MZA Nendeln	0.9	2.2

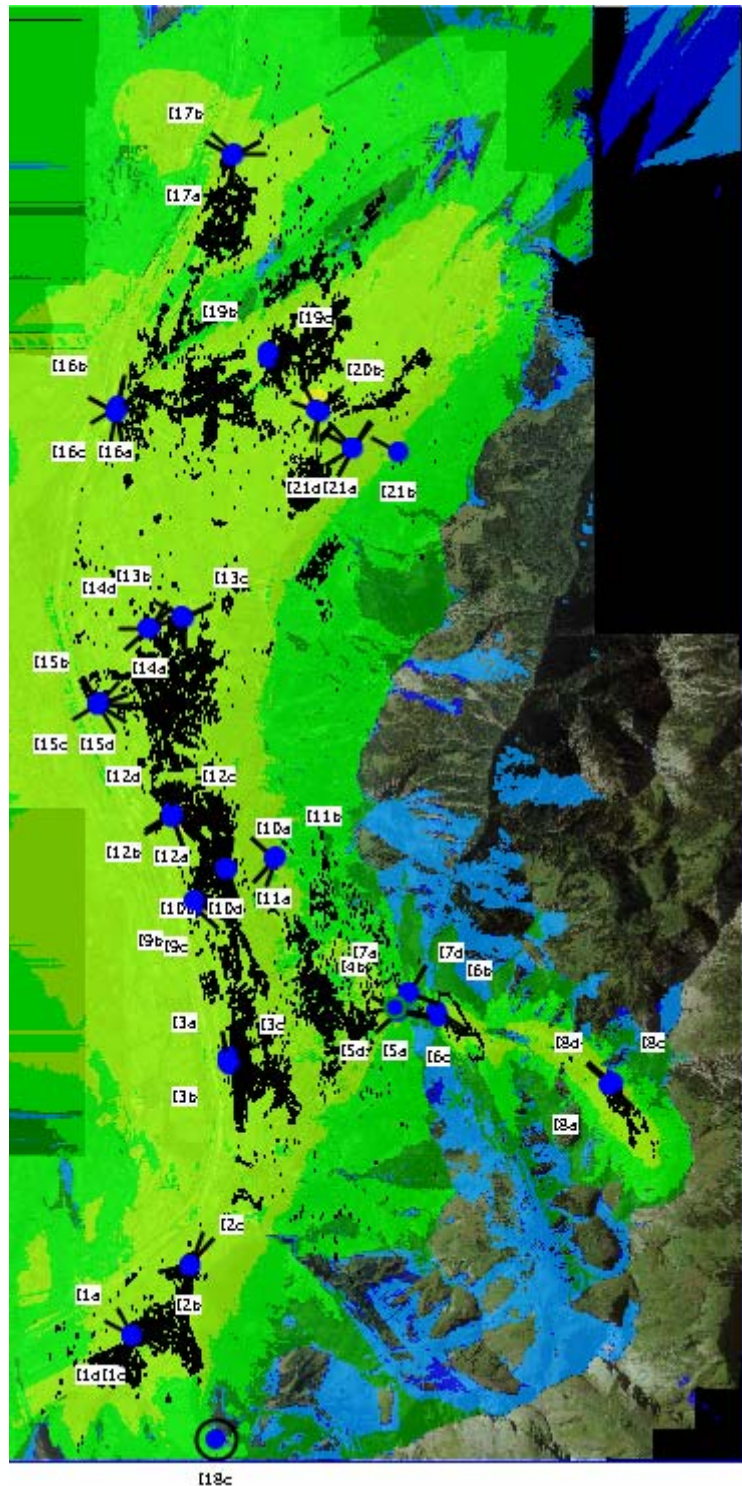


Abb. 9: Gegenwärtige Verteilung der Mobilfunkimmission (mittlere Feldstärke) in Liechtenstein (Inlandsbeitrag). Alle registrierten Standorte sind aktiv. Es wird angenommen, dass alle Betreiber die genehmigten Betriebsleistungen voll ausnutzen. Das Bild umfasst das gesamte Staatsgebiet Liechtensteins (12.6 km * 25.1 km). Die mittlere Feldstärke liegt zumeist im Bereich zwischen 0.061 V/m und 0.61 V/m (gelbgrüner Bereich).

4.2.3. Auslandsbeitrag

Aufgrund der geringen Größe des Liechtensteiner Staatsgebiets ist die Einstrahlung durch ausländische Standorte enorm, was bereits durch die Eichmessungen bestätigt wurde. Um den Einfluss des Auslands zu berechnen, wurde das für die Inlandsstandorte betrachtete Gebiet um 2 km nach Westen und 5 km nach Norden erweitert.

Auch für die grenznahen Auslandsstandorte erreicht die mittlere vorhergesagte Feldstärke nirgends den Anlagengrenzwert (Abb. 10). In unmittelbarer Umgebung der Standorte werden zwar Spitzenwerte von bis zu 4.6 V/m erreicht, doch fällt die mittlere Feldstärke bis zu den ersten rechtsrheinischen Wohngebieten auf höchstens 1.0 V/m ab.

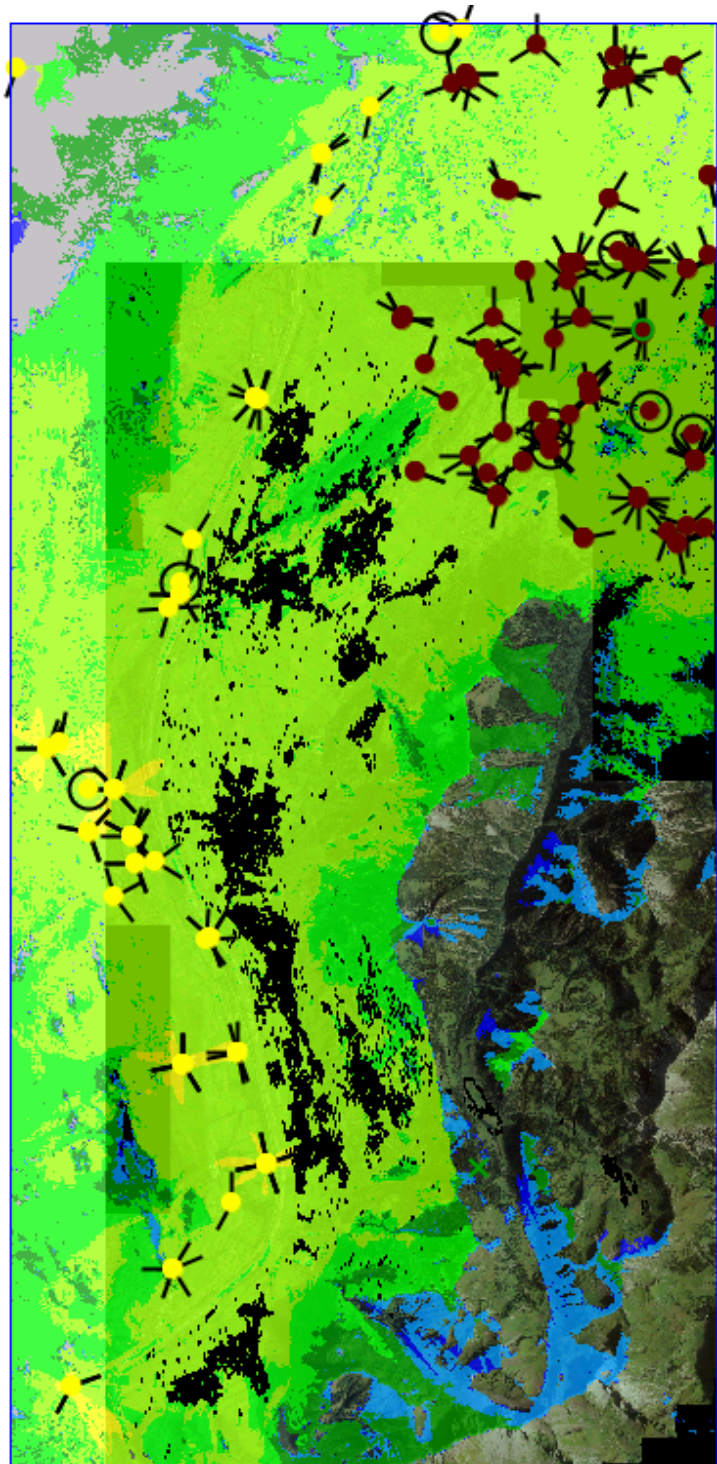


Abb. 10: Gegenwärtige Verteilung der Mobilfunkimmission (mittlere Feldstärke) in Liechtenstein (Auslandsbeitrag). Es wird angenommen, dass alle Betreiber die genehmigten Betriebsleistungen voll ausnutzen. Gelbe Symbole kennzeichnen Schweizerische, braune Österreichische Standorte. Das Bild umfasst einen Bereich von 14.6 km * 30.1 km. Die mittlere Feldstärke liegt abermals zumeist zwischen 0.061 V/m und 0.61 V/m (gelbgrüner Bereich), d.h. der Auslandsbeitrag liegt in der gleichen Größenordnung wie der Inlandsbeitrag.

4.2.4. Vergleich Inland-Ausland

Vergleicht man die Immission durch die Inlands- mit derjenigen durch die Auslandsstandorte, so stellt man in beiden Fällen fest, dass die mittlere Feldstärke überwiegend im Bereich von 0.061 bis 0.61 V/m (gelbgrüne Flächen) liegt. Gebiete geringerer Immissionen (meist hell bzw. dunkelgrün), welche vor allem im Osten des Liechtensteiner Rheintales auftreten, sind im Falle der Auslandsstandorte kleiner als im Falle der Inlandsstandorte. **Die Immission wird also an den Rändern der Inlandszellen durch die Auslandsstandorte dominiert, was vor allem auf linksrheinische Standorte großer Reichweite zurückzuführen ist. An den Zellrändern überwiegt der Auslandsbeitrag den Inlandsbeitrag im Mittel etwa um einen Faktor 1 - 5. Wie in Abschnitt 3 dieses Kapitels ausführlich erläutert wird, hat dies erhebliche Konsequenzen für das Einbuchverhalten der Mobilstationen.**

Ein typisches Beispiel ist in untenstehender Tabelle gegeben. Ausgehend von der zu Standort 3 (Triesen- Swarovski) zugehörigen Position maximaler mittlerer Inland-Feldstärke wurde genau nach Süden gehend (also parallel zur Schweizer Grenze) für mehrere Punkte die Inlands- mit der Auslandsfeldstärke verglichen. Am Ort des Inlandsmaximums ist die Inlands-Feldstärke etwa 9 mal höher als die Auslandsfeldstärke. Da Feldstärken quadratisch addiert werden, beträgt der Anteil des Auslands in Wahrheit nur 1 / 81 und ist damit eher bedeutungslos. Zum Zellrand hin fällt die Inlandfeldstärke ab, während gleichzeitig ein Auslandssender hineinstrahlt, dessen Hauptkeule etwa 500 m an Standort 3 vorbeiläuft. An dieser Stelle ist die Auslandfeldstärke etwa 4.5 mal höher als die Inlandfeldstärke, so dass das Inland effektiv nur zu 1 / 20 beiträgt. In größerer Entfernung von Standort 3 wird auch der Auslandssender wieder schwächer, bleibt aber dominant.

Abstand (km)	Mittlere Feldstärke Inland (V/m)	Mittlere Feldstärke Ausland (V/m)	Ausland Inland (Feldstärke)	Ausland Inland (Pegel)
0.0	1.27	0.14	1 : 9.1	1 : 83
0.25	0.57	0.38	1 : 1.5	1 : 2.3
0.5	0.19	0.89	4.5 : 1	20 : 1
1.0	0.13	0.19	1.5 : 1	2.3 : 1
1.5	0.11	0.13	1.2 : 1	1.4 : 1
2.0	0.11	0.11	1 : 1	1 : 1

Den gleichen Fall in Ost-West-Richtung betrachtet (also von einem einheimischen Standort in Richtung Schweizer Grenze) würde eine noch dramatischere Auslandsdominanz aufzeigen.

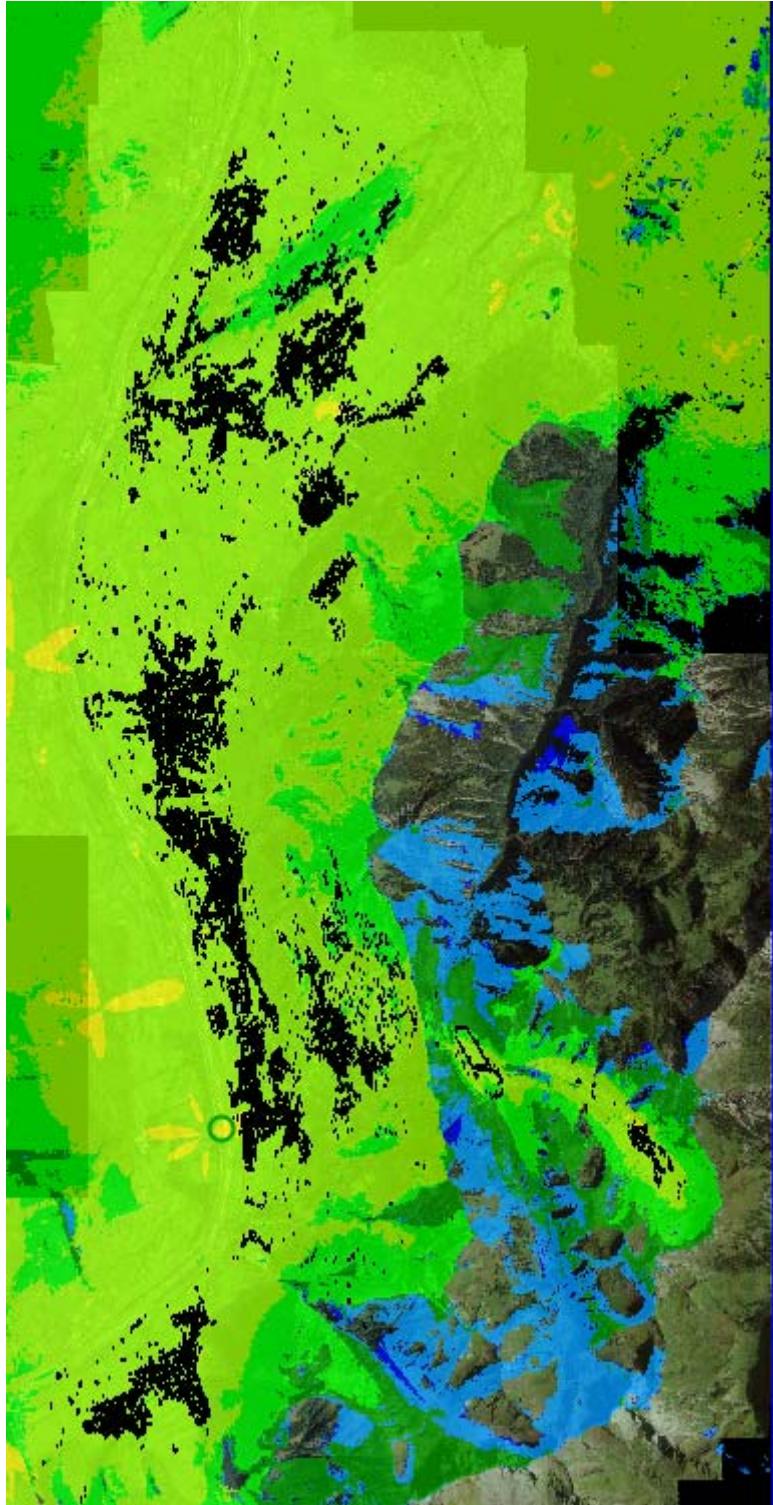


Abb. 11: Gegenwärtige Verteilung der Mobilfunkimmission (mittlere Feldstärke) in Liechtenstein (Summe von Inlands- und Auslandsbeitrag). Das Bild umfasst das gesamte Staatsgebiet Liechtensteins (12.6 km * 25.1 km). Die mittlere Feldstärke liegt nach wie vor meist bei 0.061 V/m bis 0.61 V/m (gelbgrüner Bereich).

4.2.5. Problematik des Reliefs

Mehrere der bestehenden Standorte befinden sich an Steilhängen, welche zum Rhein hin aber flach auslaufen. Wie am untenstehenden Beispiel des Standortes Tunnel Portal West für einen Betreiber gezeigt (Abb. 12), hat dies zur Folge, dass nicht nur die nähere Umgebung des Standortes ausgeleuchtet wird (das eigentliche Versorgungsgebiet), sondern auch dasjenige Gebiet, wo die Hauptkeule die Talsohle trifft. Das dazwischen liegende Areal weist, obwohl näher am Standort als das Rheintal, eine geringere Ausleuchtung auf, da aufgrund der Topographie die Hauptkeule darüber hinweggeht.

Das Rheintal ist aber sicher nicht Versorgungsgebiet des hier gezeigten Standortes, da sich dort weitere geeignetere Standorte, z.B. 3b des Betreiber B, befinden (s. Abb. 15). Mit einem erhöhten Downtilt könnte man die Immission am Rhein verringern, doch würde dann auch die Abdeckung im eigentlichen Versorgungsgebiet auf die unmittelbare Umgebung der Basisstation eingeschränkt.

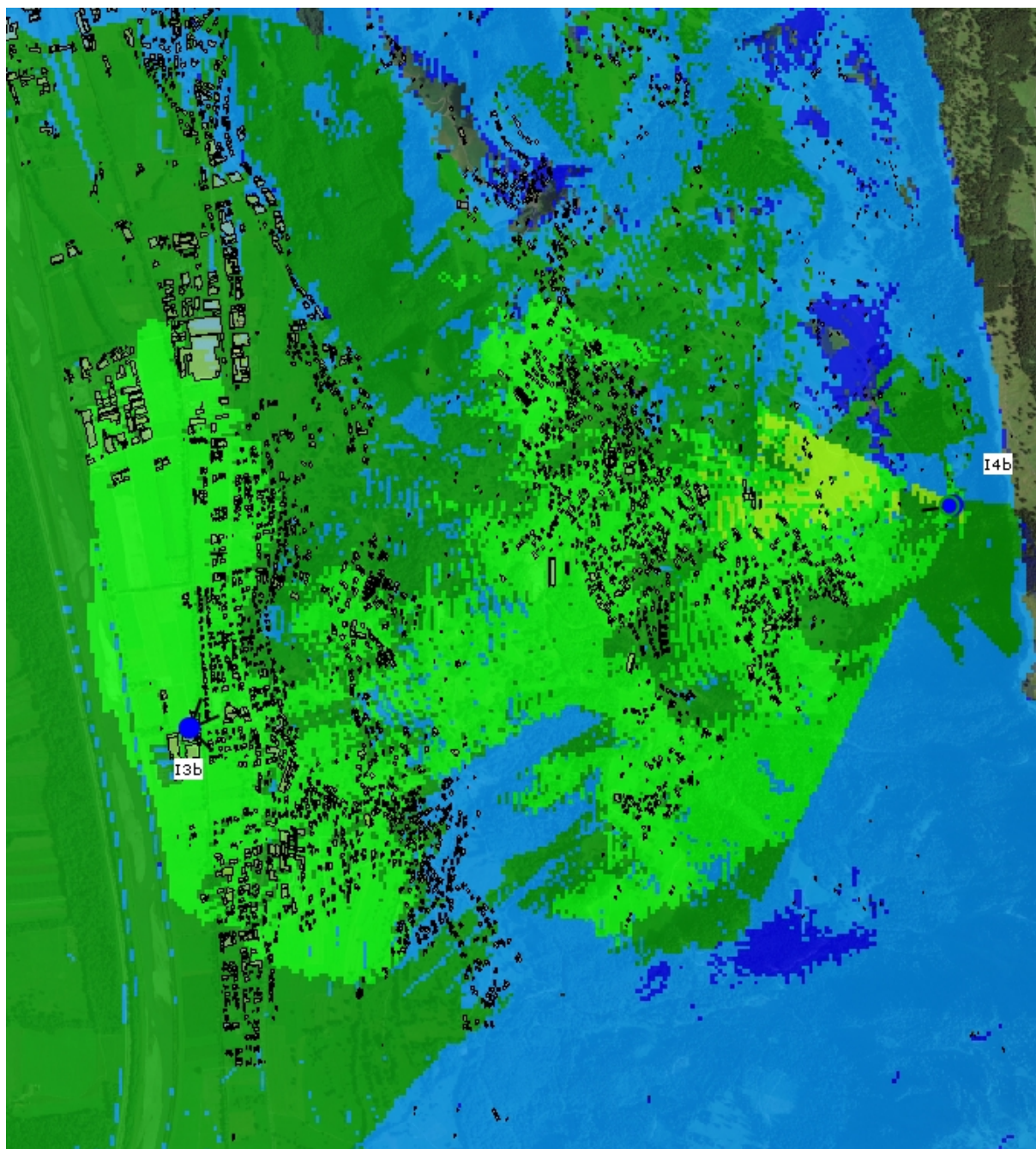


Abb. 12: Feldstärkebeitrag des in steiler Hanglage sich befindlichen Standortes 4 (Betreiber B). Man erkennt zwei klar voneinander getrennte Gebiete hoher Immission, unmittelbar am Standort sowie am Rhein. Letzteres wird jedoch primär von Standort 3b aus versorgt. Das Bild zeigt einen Ausschnitt von 3.8 km * 6.3 km.

4.2.6. Versorgung Inlandsbeitrag

Alle vier in Liechtenstein tätigen Betreiber verfügen über Standorte im GSM 900 Band, wobei jedoch zwei Betreiber klar dominieren. Durch diese wird eine zumeist flächendeckende Versorgung – auch innerhalb von Gebäuden – sichergestellt (Abb. 13 und Abb. 14).

Fast in allen Wohngebieten wird der dafür erforderliche Empfangspegel von -70 dBm erreicht (gelbe bis dunkelgrüne Gebiete). Lediglich im äußersten Norden Liechtensteins (Betreiber D) sowie an den Berghängen im äußersten Süden (beide Betreiber) kann innerhalb von Gebäuden kein Empfang garantiert werden.

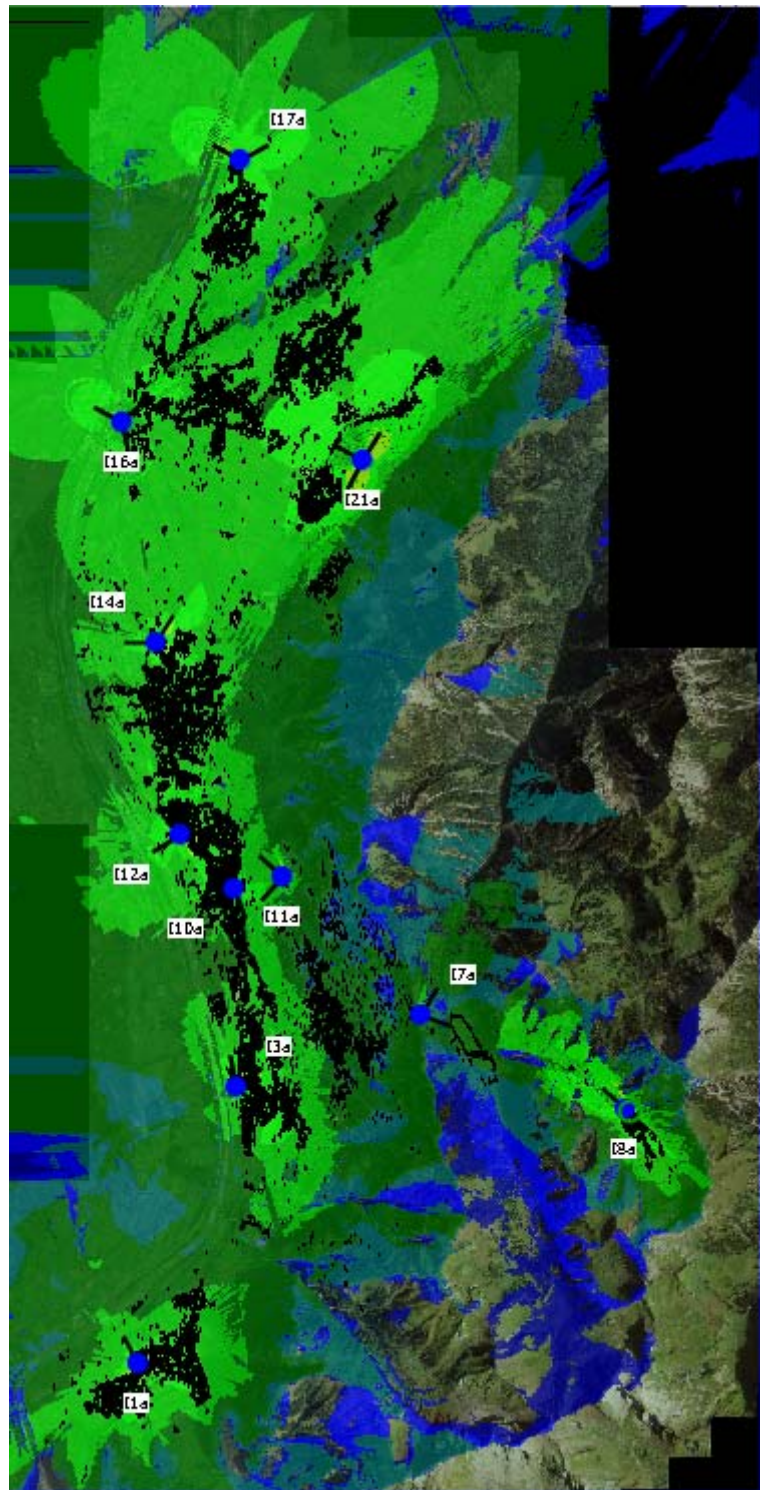


Abb. 13: Gegenwärtige Verteilung des Empfangspegels für die GSM 900 Standorte des Betreibers A. Fast in allen Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).

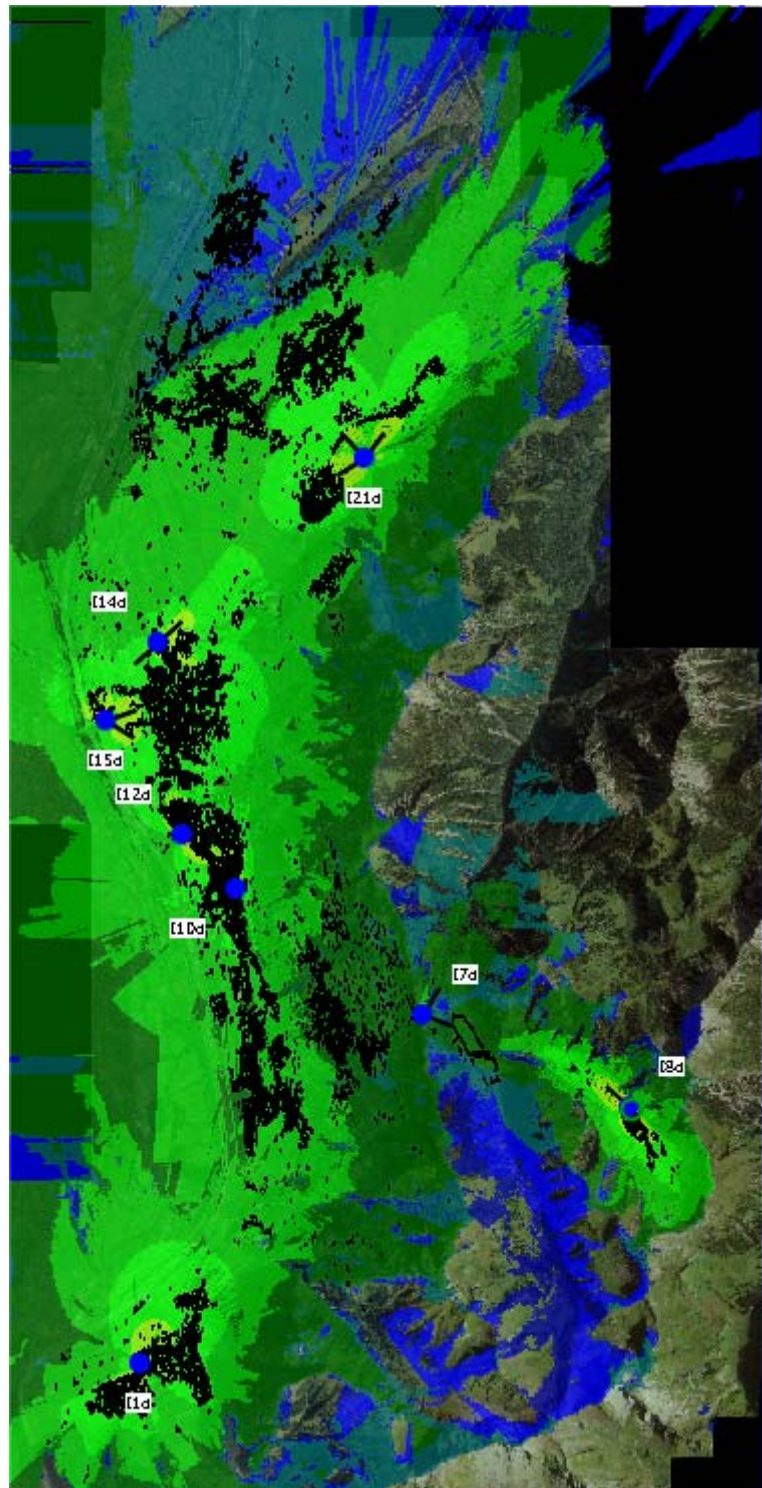


Abb. 14: Gegenwärtige Verteilung des Empfangspegels für die GSM 900 Standorte des Betreibers D. Fast in allen Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche)

Auch im **GSM 1800 Band** werden von allen vier Betreibern Standorte unterhalten, wobei jedoch erneut zwei Betreiber klar dominieren. Für diese ist die Versorgung erneut fast lückenlos (Abb. 15 und Abb. 16). Unzureichender Indoor-Empfang ist erneut nur im äußersten Norden (Betreiber C) und an den Berghängen im äußersten Süden Liechtensteins punktuell zu erwarten.

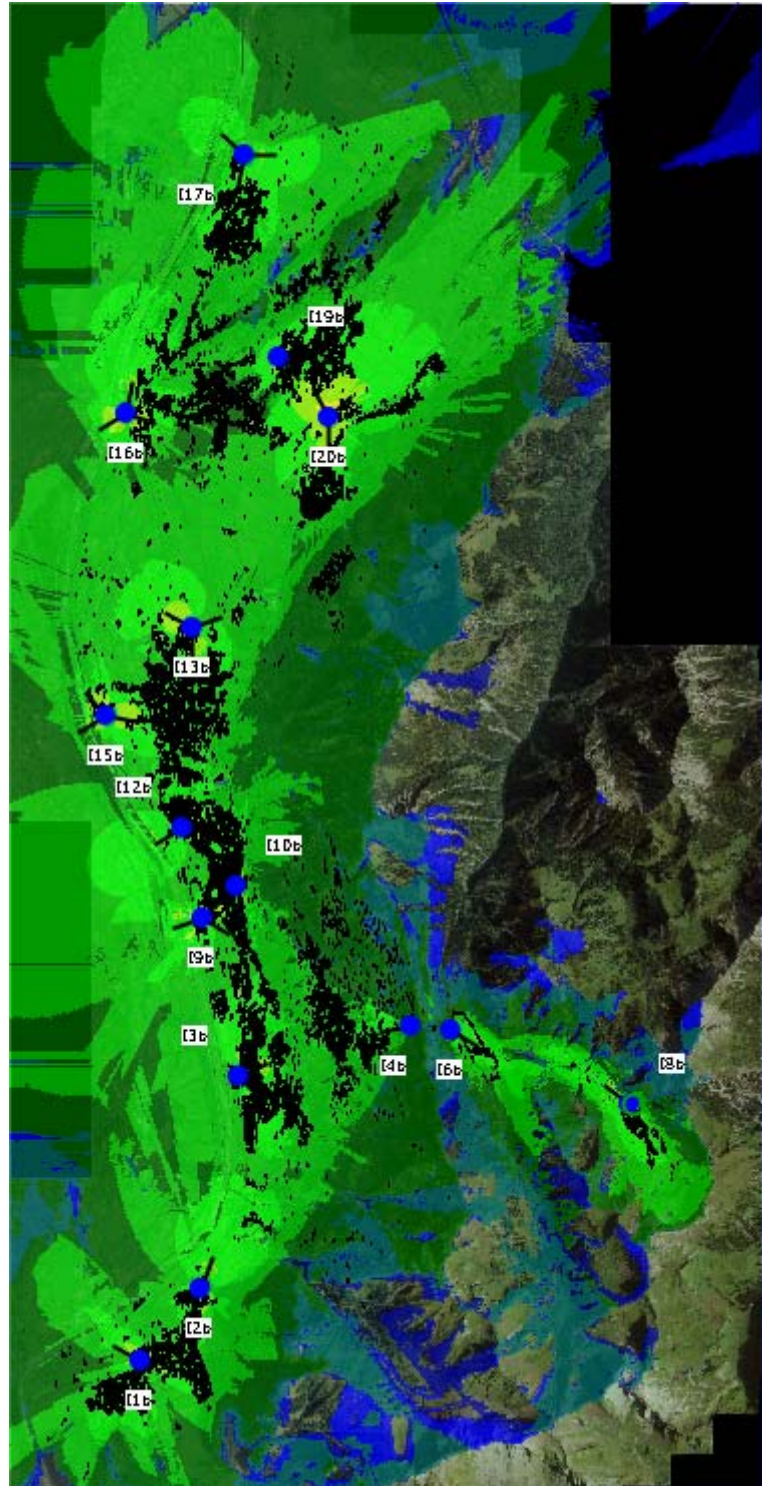


Abb. 15: Gegenwärtige Verteilung des Empfangspegels für die GSM 1800 Standorte des Betreibers B. Fast in allen Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).

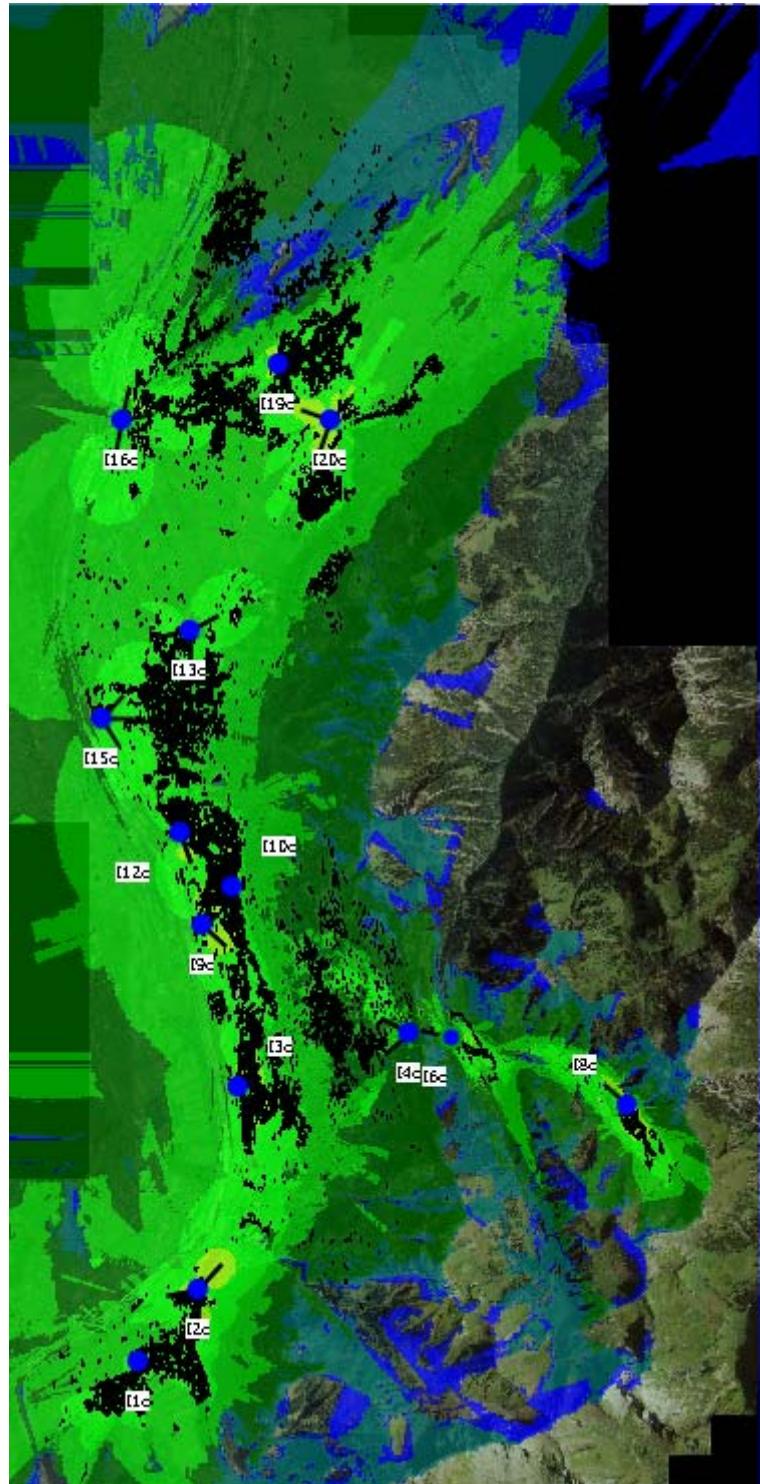


Abb. 16: Gegenwärtige Verteilung des Empfangspegels für die GSM 1800 Standorte des Betreibers C. Fast in allen Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).

4.2.7. Versorgung Auslandsbeitrag

Die **Versorgung** durch die Auslandsstandorte kann lediglich abgeschätzt werden, da deren Antennenkonfiguration nur anonymisiert vorlagen, und somit eine Zuordnung von Standorten zu einzelnen Betreibern nicht möglich war. Um eine Versorgungssituation zu simulieren, wurden von 22 Schweizer GSM 900 Standorten links des Rheins 7, also etwa 1/3, ausgewählt (Abb. 17) . Dies ist ein plausibles Vorgehen, da es im direkt benachbarten Gebiet der Schweiz drei Betreiber gibt.

Das Szenario zeigt, dass allein schon diese Schweizer Standorte von der Feldstärke her ausreichen, um Liechtenstein praktisch vollständig auch auf Indoor-Niveau zu versorgen.

Lediglich für einige Gebäude an den Berghängen im Südosten und Süden kann keine Indoor-Versorgung garantiert werden.

Das hier gezeigte Schweizer Versorgungsszenario liefert einen fast ebenso guten Empfangspegel wie Betreiber A

Abb. 13), wobei letzterer aber 9 Standorte (ohne diejenigen im Gebiet von Malbun) verwendet. Lediglich im Nordosten erweist sich Betreiber A als besser, wobei aber auch hier die Schweizer Standorte noch einen ausreichenden Pegel garantieren. Betreiber D ist vor allem im Norden dem Beispielszenario unterlegen, wobei letzterer allerdings nur 6 Standorte (ohne Malbun) benutzt (Abb. 14).

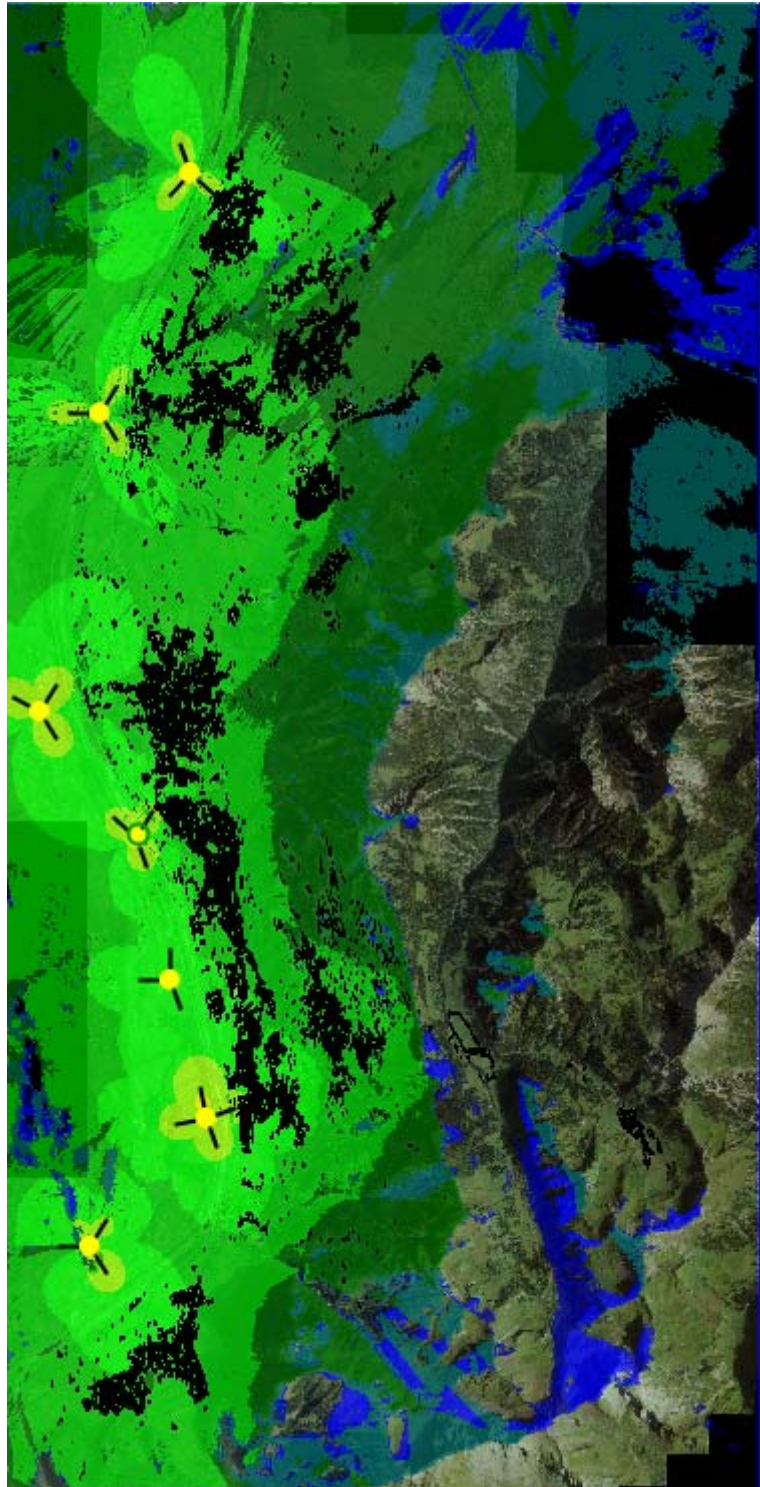


Abb. 17: Gegenwärtige Verteilung des Empfangspegels für ausgewählte linksrheinische Schweizer Standorte im GSM 900 Band. Fast in allen Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).

4.2.8. Fazit

Die häufige Dominanz der Auslandsstandorte verhindert, dass die Gesamtimmission ohne Mitwirkung des Auslands wesentlich abgesenkt werden kann. Abgesehen von den drei bereits erwähnten Standorten Tunnel Portal West, Tunnel Portal Ost und Malbun, liegen selbst die Spitzenwerte der mittleren Feldstärke einheimischer Basisstationen (bis 1.6 V/m) nur knapp über den Höchstbeiträgen, die durch Auslandsstandorte in Wohngebieten noch erzielt werden (bis 1.1 V/m).

Selbst ein vollständiges Abschalten aller Inlandsstandorte würde im Mittel nur eine Verringerung der Immission um etwa 30% bewirken.

Die Gesamtimmission (Inland und Ausland) ist in Abb. 11 dargestellt. Auf die Höchstwerte der mittleren Feldstärke in unmittelbarer Umgebung der einheimischen Standorte hat der Auslandsbeitrag mit max. 1-2 % keinen signifikanten Einfluss, wie das vorangegangene Beispiel zeigt.

Um eine ausreichende Abdeckung zu erzielen, wären also keine nationalen Basisstationen erforderlich. Solche würden aus Sicht eines Schweizer Betreibers lediglich zur Vermeidung von Kapazitätsengpässen benötigt.

Soll ein nationales Netz wirtschaftlich betrieben werden, müssen daher genügend hohe Pegel zur Verfügung stehen, um nationale Subscriber nicht an ausländische Netzbetreiber „unfreiwillig“ zu verlieren, und um vom hohen Pendleranteil in Liechtenstein profitieren zu können. Diese Tatsache wird in Kapitel 3 im Unterpunkt „Einbuchungsverhalten von Handys“ genau erläutert. Würde dies durch zu restriktive Grenzwerte verhindert, bliebe als einzige Alternative, nationale Standorte im Verbund mit dem Auslandsnetz als ein gemeinsames Netz zu betreiben.

4.3. Randbedingungen für Alternativkonzepte

Untersuchungen, in wieweit durch Alternativszenarien die Immission gesenkt und entsprechend die Grenzwerte nach unten angepasst werden können, müssen immer die konkrete Situation berücksichtigen. Im Falle Liechtensteins mit massivem ausländischem Einfluss und einem hohen Anteil an Pendlern spielen die Bedingungen, wie ein Mobiltelefon sich in welches Netz einbucht, eine entscheidende Rolle.

4.3.1. Einbuchungsverhalten der Mobiltelefone

Mobilfunkteilnehmer sind die wirtschaftliche Grundlage eines Mobilfunkbetreibers. Ein Netz kann nur aufrecht erhalten werden, wenn den Investitionen Einnahmen in Form von Gesprächs- bzw. Dateneinheiten gegenüberstehen. Es herrscht also immer das Bestreben eines Betreibers, neben seinen eigenen Kunden Roamingkunden in seinem Netz einzufangen. **In jedem Fall aber muss verhindert werden, dass eigene Kunden zu Roamingkunden des Mitbewerbers werden.** Dies ist nicht nur für die Teilnehmer unangenehm teuer, sondern entzieht dem

Heimnetz die Lebensgrundlage. Die besondere Situation Liechtensteins mit starkem ausländischem Einfluss einerseits und einem hohen Pendleranteil andererseits, macht diese Aspekte zu einem zentralen Punkt der Netzplanung. Die Wahl von Grenzwerten durch den Gesetzgeber muss dem Rechnung tragen, da inländische Grenzwerte für die Versorgung von Außen nicht gelten. Weicht man also von der Politik ab, die inländischen Grenzwerte denen der umgebenden Staaten gleichzusetzen, müssen die Konsequenzen genau bedacht werden, um eine Benachteiligung der eigenen Mobilfunkanbieter zu verhindern.

Um die Folgen reduzierter Abdeckung bzw. Signalstärken für ein Mobilfunknetz beurteilen zu können, müssen im Wesentlichen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Gibt es Konkurrenznetze und mit welchen Pegeln senden diese
- Wie setzt sich das Publikum im Netzgebiet zusammen (Einheimische, Pendler, etc ...)
- Wie reagiert ein Handy auf ein Angebot verschiedener Netze (PLMN Selection/Einbuchverhalten)

Die ersten beiden Punkte wurden oben bereits angesprochen.

Hier soll das Verhalten der Handys verschiedener Gruppen beim bestehenden PLMN-Angebot dargelegt werden.

90% aller Handys sind auf automatische Netzwahl eingestellt. Dies bedeutet, dass beim Einschalten folgende Reihenfolge für das Einbuchen in vorhandene Netze gilt (Abb. 18):

Automatische PLMN Wahl

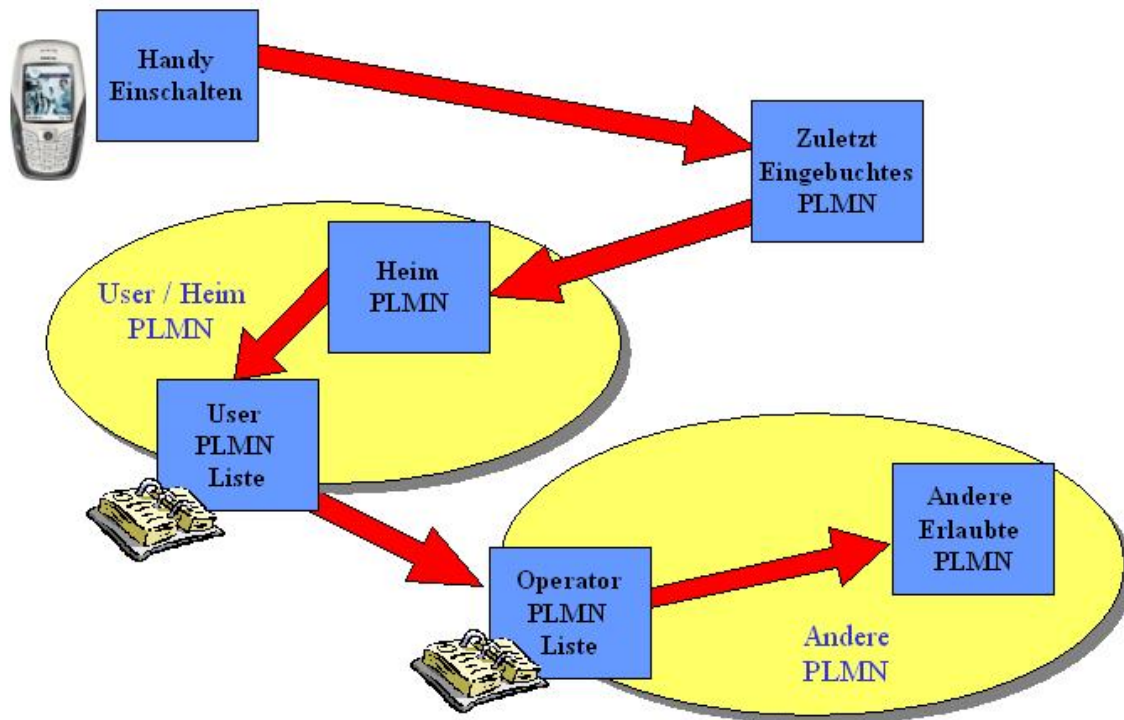


Abb. 18: Automatische PLMN Wahl

Für automatische Selektion gilt immer, dass das zuletzt benutzte PLMN gewählt wird, solange dieses zur Verfügung steht. Dabei ist es unerheblich, ob dieses Netz das Heim- PLMN oder irgendein anderes erlaubtes Netz darstellt.

Um den Einfluss der Netzqualität bzw. der zur Verfügung stehenden Feldstärke auf das Einbuchverhalten abschätzen zu können, müssen folgende Fälle getrennt betrachtet werden.

Fall 1

Ein **Liechtensteiner Subscriber schaltet sein Handy zum ersten Mal in Liechtenstein ein**. Das Handy scannt den relevanten Frequenzbereich und registriert alle Zellen mit mehr als -95 dBm Signalpegel. Entdeckt es darunter den Mobile Country Code MCC von Liechtenstein, sowie den Mobile Network Code MNC seines Betreibers, bucht es sich ein. Das Handy ignoriert alle Zellen von Fremdanbietern, auch wenn diese stärker sein sollten als sein Heimatnetz. Ist das Heimatnetz schwächer als -95 dBm, bucht sich das Handy, soweit im Vertrag Roaming erlaubt ist, entsprechend der skizzierten Reihenfolge in eines der vorhandenen Netze ein. Sind die User - PLMN Liste und die Operator - PLMN Liste

leer, wird das stärkste vorhandene Netz genommen. Bucht sich das Handy in ein Liechtensteiner Netz ein, das aber nicht dem Heimatnetz des Handys entspricht, läuft ein sogenannter Home PLMN Search-Timer. Nach Ablauf dieses Timers (typischerweise zwischen 5 und 480 Minuten – was vom Operator gesetzt werden kann) überprüft das Handy selbstständig, ob das Heimatnetz nun in ausreichender Stärke (größer -95dB) zur Verfügung steht. Wenn ja, bucht es sich dort ein, wenn nein, bleibt es im gewählten Netz und der Timer startet von Neuem. Hat sich das Handy in ein Netz mit fremdem Mobile Country Code (z.B. einem Schweizer Netz) eingebucht, dann wird dieser Timer nicht gestartet, und das Handy bleibt im Fremdnetz so lange, wie dieses mit ausreichender Feldstärke zur Verfügung steht. Die Schwelle zum Wechsel des Netzes liegt im optimalen Fall bei ca. -106dBm , bei starken Interferenzen und hohem Rauschpegel schon bei -100 dBm .

Ein Liechtensteiner Subscriber in unserem Beispiel kommt also automatisch so lange nicht mehr aus dem Schweizer Netz heraus, solange dieses mit mehr als ca. -106 dBm zur Verfügung steht. Ein manueller Wechsel ist jederzeit möglich, aber umständlich.

Fall 2

Ein Liechtensteiner Subscriber ist in seinem Heimatnetz eingebucht. Er fährt in die Schweiz zum Einkaufen. Das Handy versucht so lange wie möglich im Liechtensteiner Netz zu verbleiben. Erst wenn der Empfangspegel unter die Schwelle von -10x dBm fällt, wird nach oben geschilderten Kriterien ein anderes Netz gewählt- in unserem Beispiel Betreiber A in der Schweiz. Kehrt der Liechtensteiner Subscriber zurück, so verbleibt sein Handy beim Schweizer Betreiber A, solange dieser einen genügend hohen Empfangspegel bietet. Da die Schweiz einen anderen MCC als Liechtenstein hat, wird nicht nach dem Heimatnetz gesucht (würde Liechtenstein den Schweizer MCC benutzen, würde eine Home-PLMN-Suche stattfinden). Deckte Betreiber A ganz Liechtenstein mit genügendem Pegel ab, würde das Handy nicht mehr automatisch ins Heimatnetz zurückkehren. Die Folge, der Betreiber generiert keine Einnahmen und der Subscriber zahlt teure Roaminggebühren. Hier ist somit ein manueller Wechsel ins Heimatnetz angesagt.

Fall 3

Für einen Schweizer Subscriber, der nach Liechtenstein pendelt, verhält es sich analog. Solange das Schweizer Netz erreichbar ist, wird sich dieser nicht in ein Liechtensteinisches Netz einbuchen, der Liechtensteiner Operator keinen Cashflow generieren.

Fall 4

Besucht z.B. ein Deutscher Subscriber Liechtenstein, dann hängt das Verhalten davon ab, ob dieser sein Handy bereits bei der Fahrt nach Liechtenstein eingeschaltet hat, oder das Handy erst dort einschaltet.

Hat er sein Handy schon eingeschaltet, dann hat er sich vor der Einfahrt nach Liechtenstein bereits entweder in einem Österreichischen oder Schweizer Netz eingebucht und bleibt es, solange die Netzqualität dies erlaubt.

Schaltet hingegen der deutsche Subscriber sein Handy erst in Liechtenstein ein, haben theoretisch alle Netze mit Signalstärke größer -95dBm die gleiche Chance, ausgewählt zu werden (sollte die Auswahl nicht durch die PLMN Listen vordefiniert sein).

Das Handy scannt die Zellen und wählt theoretisch willkürlich (ETSI) ein geeignetes Netz aus. Versuche haben allerdings ergeben, dass in der Realität das stärkste Netz herangezogen wird. Dies wissen die Netzbetreiber und fahren ihre Feldstärken an sogenannten Entry Points (Flughäfen/Bahnhöfe) herauf, um ihre Chance, ausgewählt zu werden, zu verbessern.

4.3.2. Zusammenfassung der Problematik

Ergeben sich z.B. wegen zu rigider Grenzwerte Versorgungslücken in einem Li-Netz, so würde sich ein Handy sofort in ein anderes vorhandenes ausländisches Netz einbuchen und von selbst nicht mehr ins Li-Netz zurückkehren.

Als Gegenmaßnahme könnte das Roaming mit Schweizer und Österreichischen Netzbetreibern gesperrt werden, dann könnte aber ein Subscriber bei einer Reise nach Österreich und Schweiz nicht telefonieren.

Auch intelligente Lösungen wie Standorterkennung und damit selektives Sperren von Netzen wären möglich, dies müsste jedoch aufwendig als sogenannte „Location-Based Services“ über eine IN-Plattform implementiert werden. Dies verursacht nicht unerhebliche Kosten und wäre eine proprietäre Lösung.

Es ist zu bedenken, dass bei Netzen mit geringen Teilnehmerzahlen wie in Li jede Abweichung vom Standard erhebliche Mehrkosten pro Teilnehmer zusätzlich zu der ungünstigen Gesamt-„größe“ des Netzes verursacht. Nicht zuletzt war die Beurteilung des Roamingverhaltens Grundlage der Forderung eines eigenen MCC-Codes, um damit hohe Roaminggebühren von ausländischen Kunden realisieren zu können.³

Zusammenfassend und im Sinne des Auftrags kann bestätigt werden, dass auf Grund der obigen Erkenntnisse im Folgenden zu untersuchen ist,

1. wie weit eine Absenkung der Grenzwerte theoretisch möglich wäre, ohne signifikante Nachteile für die Liechtensteiner Betreiber zu generieren.
2. Darüber hinaus müsste eine langfristige Lösung zusammen mit den Nachbarländern gesondert erörtert werden.

Diese ist zum jetzigen Zeitpunkt rein akademisch, da jedes Land seine Immissionsschutzgrenzwerte in eigener Verantwortung festlegt und nur die

³ siehe Grundsatzklärung der Regierung Nr. 55/2004 vom 24.8.2004 zur Telekommunikation im Bereich der Mobiltelefonie, S. 8u. f., download unter : http://www.llv.li/pdf-llv-ak-grundsatzklaerung_mobiltelefonie_20040824.pdf;

grenzüberschreitenden Immissionen, durch Beitritt völkerrechtlich verbindlich, dem seit 2003 geltenden Berliner Abkommen in der Folge der technischen Spezifikationen T/R 22-08 und T/R 22-07 als CEPT- Empfehlung unterliegen.

Diese Studie hat sich **auftragungsgemäß** an den bestehenden Rahmenbedingungen zu orientieren und soll untersuchen in wieweit nationale Anpassungen der **Grenzwerte im Hoheitsgebiet Liechtensteins** und zwar ausschließlich dort möglich sind.

4.4. Alternativkonzept

Wie im Folgenden gezeigt wird, könnte im Rahmen eines Ultra- High- Site Konzepts, d.h. mit Basisstationen sehr großer Höhe und schmalwinkligen Sektoren, mit nur wenigen Standorten eine vollständige Versorgung Liechtensteins bei gleichzeitig sehr niedriger Immission in Wohngebieten erreicht werden.

Ohne eine gleichzeitige Absenkung auch der Auslandsimmission bleibt jedoch jedes Alternativkonzept weitgehend unwirksam und verstärkt zudem die Tendenz zur Einbuchung der Mobilstationen ins Auslandsnetz.

Das hier vorgestellte Alternativkonzept beruht vollständig auf schmalwinkligen Sektoren. Das Antennendiagramm wurde gemäß folgender Formeln berechnet:

$$E(\varphi) / E(0) = [4 b^2 \cos(\varphi)] / [(4 b^2 - 1) \cos^2(\varphi) + 1]$$

$$b^2 = \frac{1}{2} * [1 - \cos^2(\alpha)] / [1 - (\sqrt{2} \cos(\alpha) - 1)^2]$$

Für das horizontale Antennendiagramm wurde $\alpha = 5^\circ$, für das vertikale Antennendiagramm $\alpha = 15^\circ$ verwendet. $E(\varphi)$ ist die Feldstärke, die unter dem Winkel φ relativ zur Hauptstrahlrichtung auftritt, $E(0)$ die Feldstärke in Hauptstrahlrichtung. α ist der Winkel relativ zur Hauptstrahlrichtung, unter dem die Feldstärke auf $E(0) / \sqrt{2}$ abgefallen ist (bzw. die Leistungsflussdichte genau auf die Hälfte des Wertes in Hauptstrahlrichtung).

Folgende Standorte wurden für das Alternativkonzept betrachtet. Dabei wurden pro Betreiber für jeden Sektor 2 Transceivermodule für jedes Frequenzband (GSM 900, GSM 1800 und UMTS) angenommen. Für jedes Transceivermodul eines Frequenzbandes wurde die gleiche Konfiguration verwendet. **In allen Fällen wurde die Höhe der Antennen zu 50 m über Grund angenommen**, um Behinderungen durch Bergsättel, Bewaldung etc. auszuschließen. Die momentane Erschließung der Standorte und die konkrete Breitstellung wurden bewusst nicht berücksichtigt. Bei diesem Konzept wird das Alpengebiet nicht, sondern in einem gesonderten Kapitel behandelt.

Standort	Position	Sektoren (Grad)	Downtilt (Grad)	Leistung pro Kanal (W)
A5	9° 33' 12" O 47° 10' 44" N	0/240/300	20/20/20	10/10/10

A6	9° 31' 57" O 47° 04' 10" N	0/240/300	30/30/30	10/10/10
A7 (bei I4)	9° 33' 37" O 47° 06' 57" N	210/270/330	20/20/0	5/5/5
A8 (bei I11)	9° 32' 02" O 47° 08' 25" N	210/270/330	15/25/15	10/10/10
A9	9° 31' 38" O 47° 13' 20" N	0/60/120/ 180/240/300	10/-2/8/ 8/10/15	10/10/10/ 10/10/10

4.4.1. Gesamtfeldstärke

Die mittlere vorhergesagte Feldstärke erreicht für alle alternativen Standorte den Anlagengrenzwert bei weitem nicht, die Höchstwerte liegen zwischen 0.9 und 1.2 V/m (Abb. 19). In Wohngebieten werden im Allgemeinen nur Höchstwerte von 0.2 V/m erreicht, im Norden Liechtensteins jedoch bis zu 0.7 V/m. Das letztgenannte Gebiet kann aufgrund eines länglichen Höhenzugs von Osten her nicht vollständig ausgeleuchtet werden. Es ist stattdessen notwendig, die Basisstation auf dem Hügel selbst zu platzieren. Für sämtliche Alternativstandorte könnte eine niedrigere Immission durch eine Absenkung der Ausgangsleistung um ca. einen Faktor 5-10 problemlos erreicht werden, dabei ist jedoch wiederum die Problematik des Einbuchungsverhaltens zu beachten und eine weitergehende Kooperation des Auslands nötig.

Ein Vergleich zwischen Abb. 9 und Abb. 19 zeigt die deutlich geringere Immission des Alternativkonzepts. Insbesondere die Spitzenwerte der mittleren Feldstärke in Wohngebieten könnten zum Teil um einen Faktor 3-5 gesenkt werden. Dies setzt jedoch eine vergleichbare Verringerung der Auslandsimmission zumindest für diejenigen Standorte voraus, die sich unmittelbar am linken Rheinufer befinden.

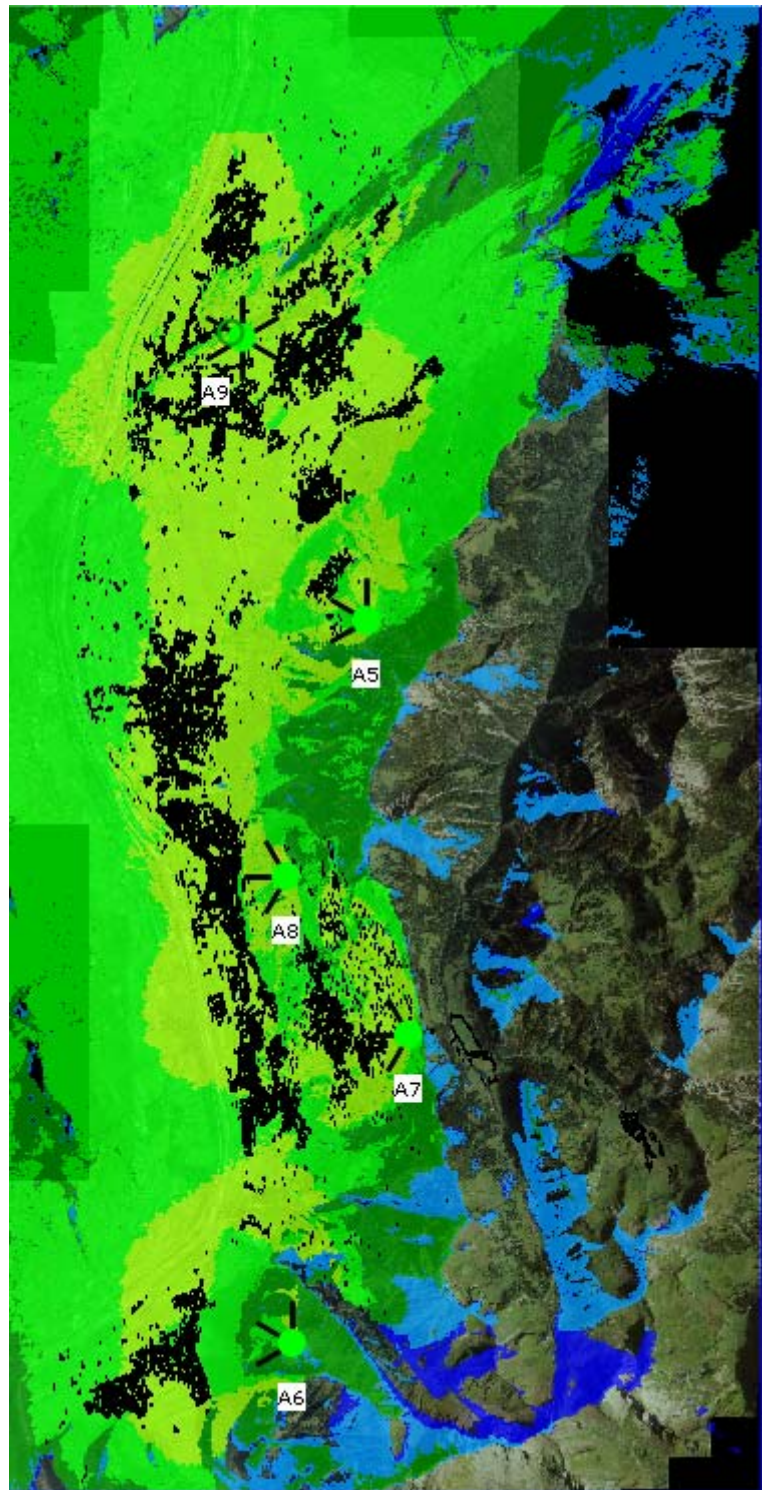


Abb. 19: Zu erwartende Verteilung der Mobilfunkimmission (mittlere Feldstärke) für die alternativen Standorte. Es wird angenommen, dass die veranschlagten Betriebsleistungen voll ausgenutzt und alle Standorte von allen Betreibern in allen Frequenzbändern verwendet werden. Es ist zumeist eine Feldstärke von 0.061 V/m bis 0.61 V/m zu erwarten (gelbgrüner Bereich).

4.4.2. Versorgung am Beispiel GSM 900

Der Versorgungsgrad des vorgestellten Alternativszenarios ist in allen 3 Frequenzbändern vergleichbar gut.

Trotz der geringen Anzahl von Standorten wird praktisch überall der für Indoor-Empfang erforderliche Pegel erreicht, wie das Beispiel für GSM 900 zeigt (Abb. 20).

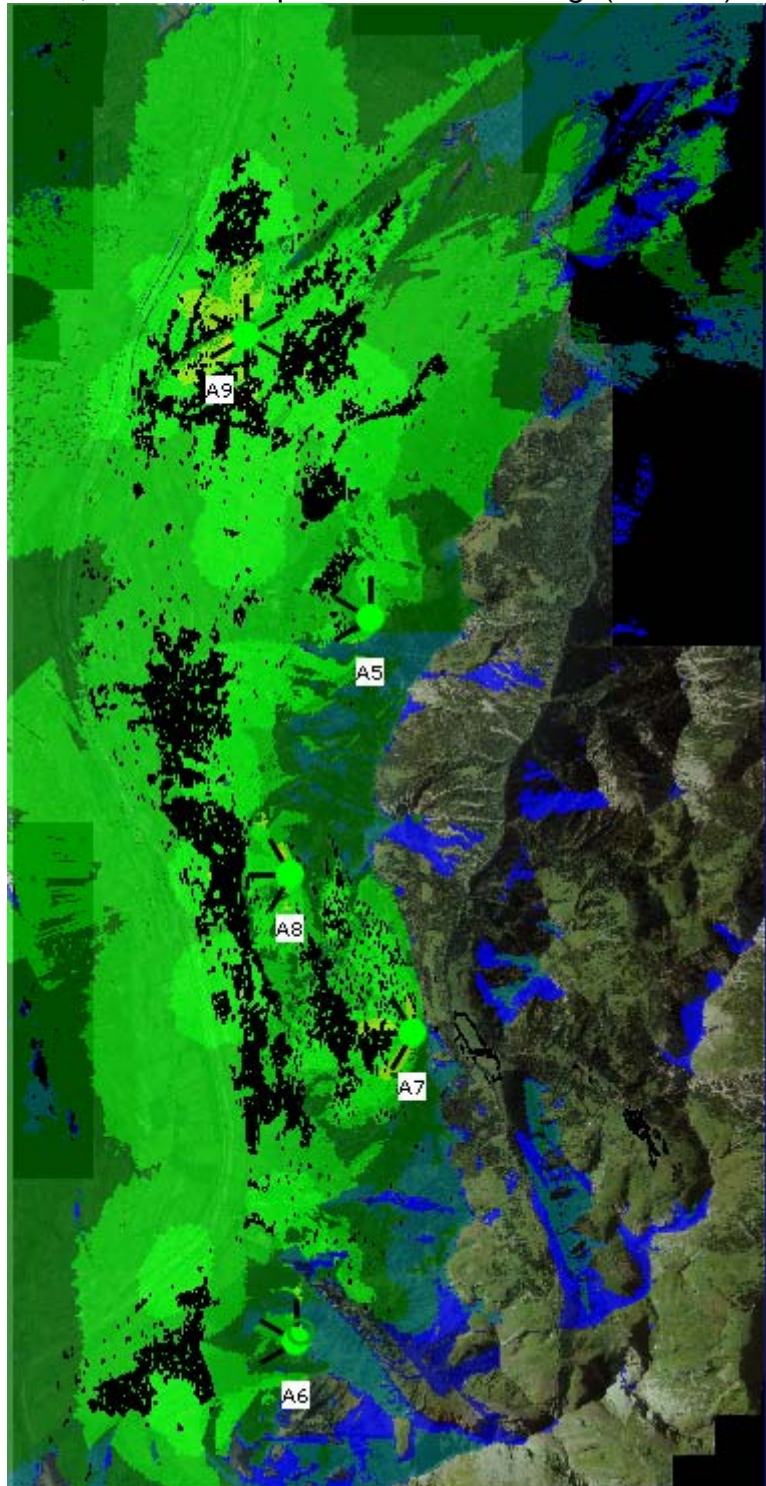


Abb. 20: Zu erwartende Verteilung des Empfangspegels für die alternativen Standorte im GSM 900 Band. Fast in allen Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).

4.4.3. Fazit

Kleine Abdeckungslücken im Norden und an den östlichen Berghängen können durch leistungsschwache Basisstationen oder Repeater geschlossen werden.

Um auch genügend Kapazität bereitzustellen, sind weitere Basisstationen erforderlich. Solche können aber mit weit geringerer Leistung (etwa 1 Watt pro Kanal) betrieben werden, so dass auch bei einer Aufstellung nahe an Wohngebieten keine hohe Immission auftritt und somit die **prognostizierten Maximalwerte der flächendeckenden Berechnung nicht angepasst werden müssen.**

Anmerkung:

Alle anderen Aspekte der Raumordnung und Planung, der Erschließung, des Landschaftsschutzes oder der Einbindung in das Ortsbild sind in diesem Stadium des Konzeptes nicht beachtet. Es sollte auch im Rahmen der Studie kein abgeschlossenes Alternativkonzept für das gesamte Staatsgebiet erarbeitet werden. Es ging nur darum zu zeigen, in welcher Größenordnung sich die Versorgung und die resultierende Feldstärke belaufen werden.

5) Immissions- und Versorgungssituation im Gebiet Steg - Malbun

Hinweis:

Für die Darstellung von Feldstärkeverteilungen und Empfangspegel wird in den folgenden Plots die gewohnte Farbskala (**Abb. 7**) bzw. (**Abb. 8**) verwandt.

5.1. Ist-Situation Steg - Malbun

Auf der Grundlage der in den vorausgegangenen Kapiteln diskutierten Eichung des Prädiktionstools wurde die gegenwärtig zu erwartende Immission berechnet. Dabei wurden folgende Standorte einbezogen:

Standort	Frequenz	Position	Sektoren (Grad)	Downtilt (Grad)	Höhe (m)
I6b/c = Tunnel Portal Ost	GSM 1800 2 Betreiber	9° 34' 11" O 47° 06' 54" N	120 120/(280)	-10 -4/0	19 18/4
I7a/b = Sücka Repeater	GSM 900 2 Betreiber	9° 33' 47" O 47° 07' 08" N	30/110 30/110	-2/-4 -2/-4	2/2 2/2
I8a/b/c/d = Malbun	GSM 900 2 Betreiber GSM 1800 2 Betreiber	9° 36' 29" O 47° 06' 14" N	130/310 150/310 150/305 150/310	-4/-4 6/0 -4/7 0/8	12/12 17/17 9/9 24/24

Die Beiträge der übrigen Liechtensteiner sowie ausländischer Standorte können wegen der isolierten Lage Steg - Malbuns völlig vernachlässigt werden. Die für die Eichung des Prädiktionstools durchgeführten Messungen zeigen, dass im hier diskutierten Gebiet nur die oben aufgeführten Standorte nachweisbar sind. Der Sektor 280° des Standortes I6c dient der Versorgung des Tunnels und wird daher im Folgenden nicht weiter berücksichtigt. Es wird bei der Berechnung der Prädiktion davon ausgegangen, dass die Betreiber jeweils die volle genehmigte Leistung nutzen (worst case).

5.1.1. Gesamtfeldstärke

Allgemeine Anmerkungen

Das Prädiktionstool liefert eine Vorhersage für die mittlere zu erwartende Feldstärke. Aus der Eichung geht hervor, dass einzelne Messwerte auf der Empfangspegelskala mit einer Abweichung von 6 dB um den Mittelwert schwanken können. Auf der Feldstärkeskala entspricht dies einer Abweichung von 3 dB, was einem Faktor 2 entspricht. Selbst wenn die mittlere vorhergesagte Feldstärke also einen bestimmten Grenzwert nicht überschreitet, sind daher mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit trotzdem Überschreitungen möglich.

Entspricht die vorhergesagte mittlere Feldstärke exakt einem vorgegeben Grenzwert, so beträgt die Überschreitungswahrscheinlichkeit genau 50 %. Liegt die mittlere Feldstärke um 5.0 dB (entspricht einem Faktor von 3.1) unter dem Grenzwert, so beträgt die Überschreitungswahrscheinlichkeit nur noch 5 % oder anders ausgedrückt, die Wahrscheinlichkeit für die Einhaltung des Grenzwertes beträgt 95%.

Situation in Steg - Malbun

Die mittlere vorhergesagte Feldstärke überschreitet nirgends den Anlagengrenzwert von 5 V/m - der höchste vorhergesagte Mittelwert liegt bei 2.7 V/m (Abb. 21). Allerdings genügt schon ein Mittel von 1.6 V/m, um mit 5 % Wahrscheinlichkeit den Grenzwert zu überschreiten. Solche Gebiete treten in unmittelbarer Nähe der Standorte I8a-d auf (Abb. 22). **Es sind in keinem Fall OMEN-Gebiete davon betroffen!**

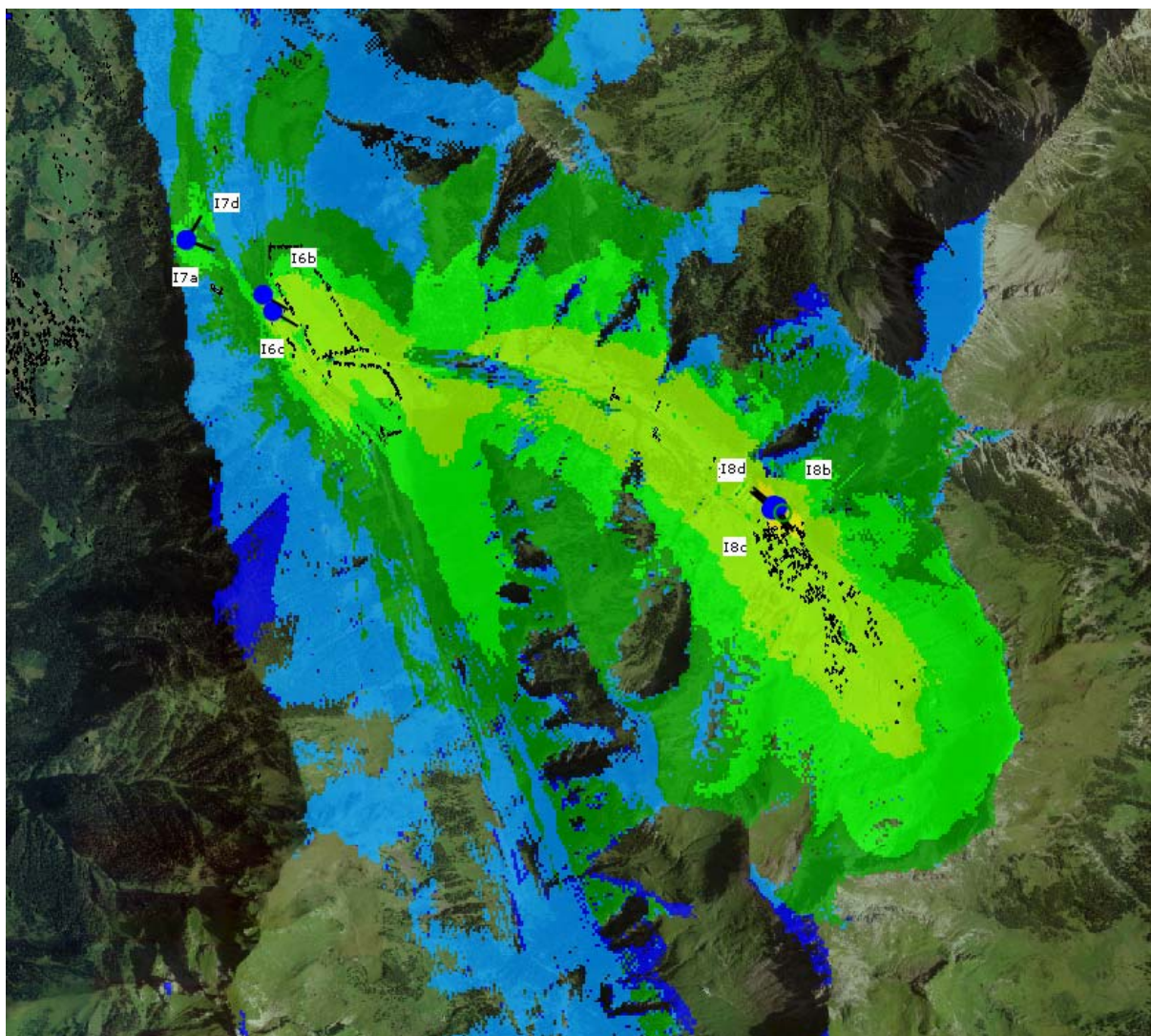


Abb. 21: Gegenwärtige Verteilung der mittleren Feldstärke (50 % Überschreitungswahrscheinlichkeit) im Gebiet von Malbun. Das Bild umfasst wie alle nachfolgenden einen Ausschnitt von 6.8 km * 6.1 km. Es treten im Mittel keine Überschreitungen des Anlagengrenzwertes auf.

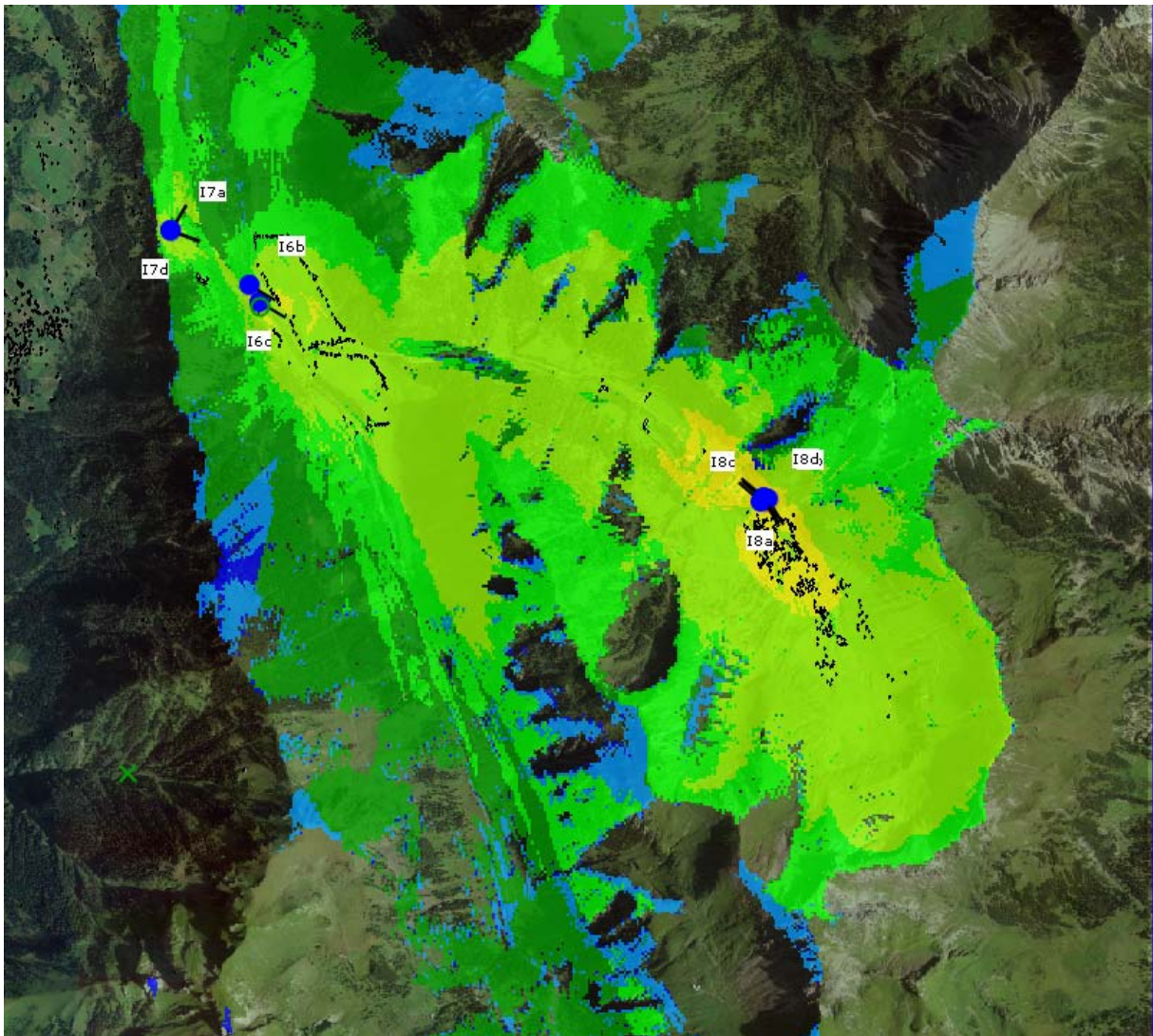


Abb. 22: Gegenwärtige Verteilung der mit 5% Wahrscheinlichkeit überschrittenen Feldstärke in Malbun. In unmittelbarer Umgebung des Standortes I8 kann der Anlagengrenzwert von 5 V/m geringfügig überschritten werden (nur OKA betroffen).

Im Bereich der Standorte I6b/c und I7a/d erreicht die mittlere Feldstärke Höchstwerte von 0.64 V/m, d.h. hier können Maximalfeldstärken bis zum Dreifachen des alten Salzburger Grenzwertes von 0.61 V/m auftreten. (Abb. 22). Die Überschreitungen sind fast ausschließlich durch den Standort I6b/c bedingt.

Im Bereich von Standort I7a/d liegt die mittlere Feldstärke maximal bei 0.074 V/m, so dass selbst unter Anlegung des 5 % - Kriteriums keine Gebiete – auch nicht in unmittelbarer Umgebung der Basisstation - auftreten, die über dem alten Salzburger Grenzwert von 0,2 V/m liegen.

5.1.2. Versorgung

Für das GSM 900 Band ist in allen Wohngebieten eine ausreichende Versorgung vorhanden, auch innerhalb von Gebäuden. Dies trifft größtenteils auch für die Ski-gebiete südlich und östlich des Hauptortes zu. Bedingt durch Unebenheiten des Reliefs ist in den Ski-Gebieten punktuell die Versorgung mangelhaft (Abb. 23).

Die Versorgung im GSM 1800 Band ist von gleicher Güte wie diejenige im GSM 900 Band (Abb. 24).

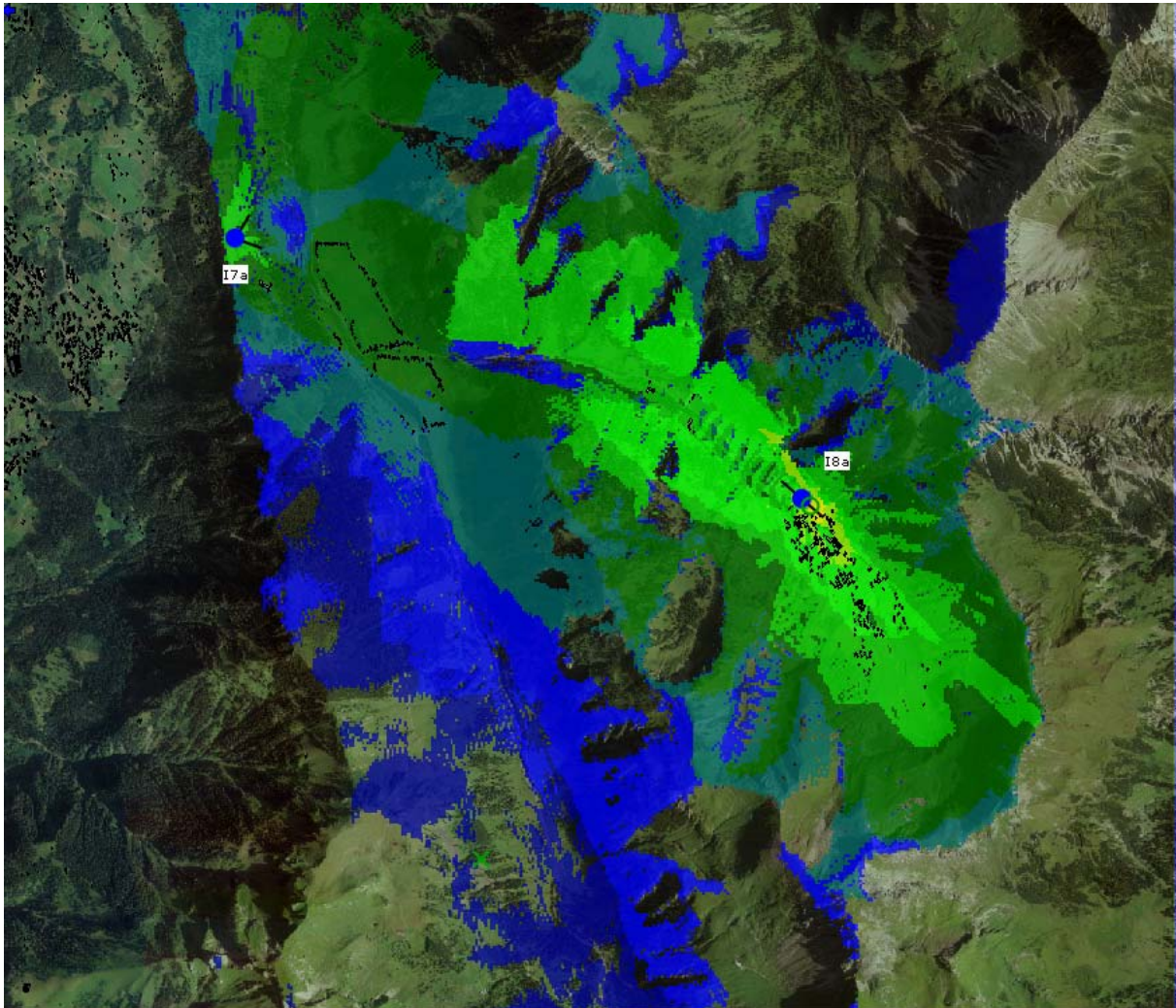


Abb. 23: Gegenwärtige Verteilung des Empfangspegels im GSM 900 Band durch einen Betreiber. In Wohn- und fast auch allen Skigebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).

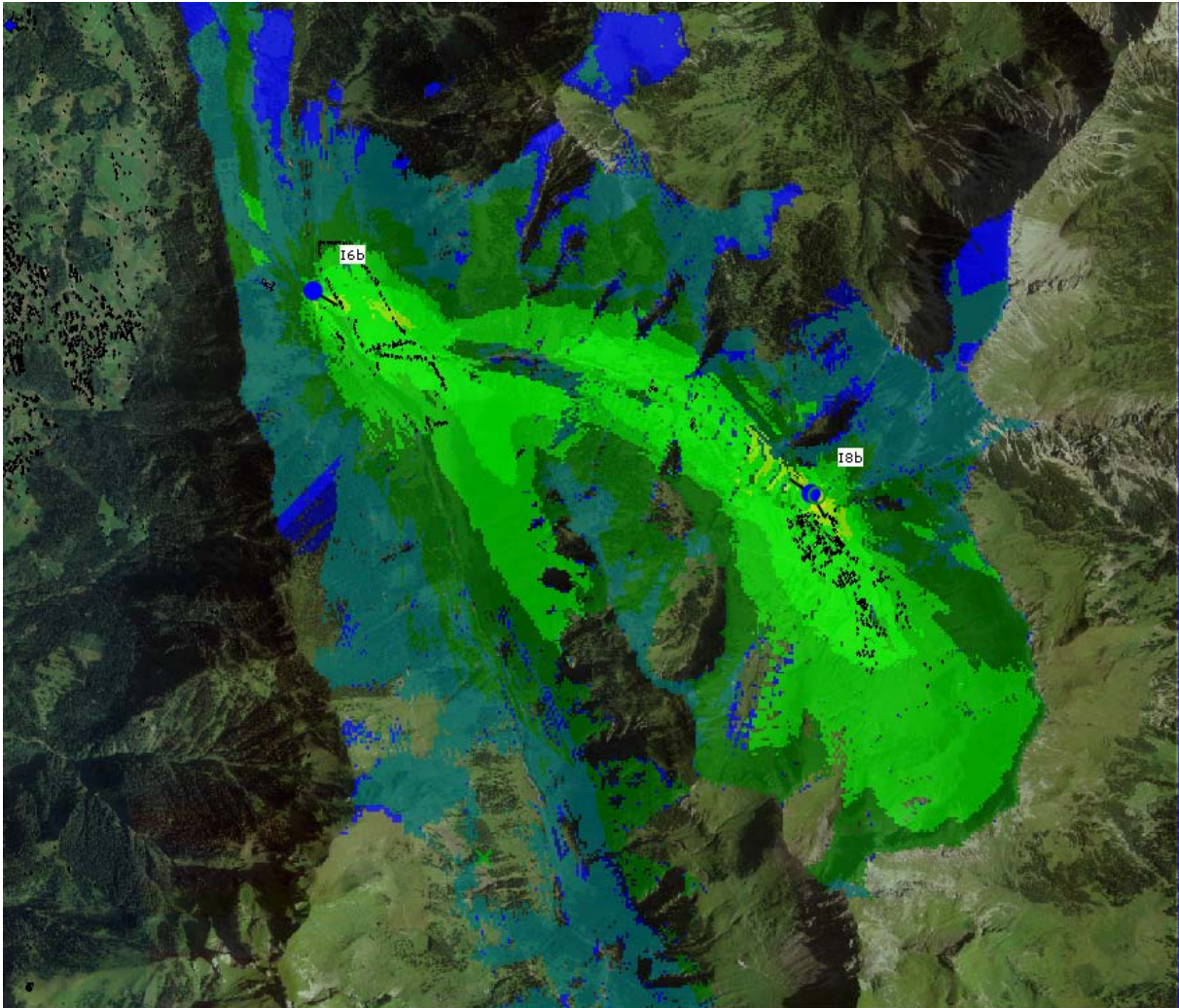


Abb. 24: Gegenwärtige Verteilung des Empfangspegels im GSM 1800 Band durch einen Betreiber. In Wohn- und fast auch allen Skigebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).

5.2. Alternative Standorte

Hier wurde dem Auftrag gemäß untersucht, in wieweit es möglich ist, im Siedlungsgebiet Malbun und Steg die Strahlenbelastung bei ausreichender Netzqualität (Indoor-Versorgung) zu reduzieren und im übrigen Alpengebiet eine Versorgung zumindest im Freien zu gewährleisten.

Um die bereits nahe dem Anlagengrenzwert liegenden mittleren Feldstärken zu vermeiden, und dennoch eine ausreichende Versorgung zu garantieren, wird auch hier ein **Ultra-High-Site Konzept** vorgeschlagen. Dieses beruht auf Basisstationen, die sich durch eine große Höhe und extrem schmalwinklige Sektoren auszeichnen. Damit kann auch bei relativ niedriger eingespeister Leistung eine große Reichweite erzielt werden. Dabei wird von denselben Antennendiagrammen ausgegangen wie bei den Alternativszenarien im Kerngebiet von Liechtenstein (s. Kapitel III Punkt 4).

Nachfolgende Standorte werden für das Alternativkonzept betrachtet. Dabei wurden pro Sektor für jedes Frequenzband (GSM 900, GSM 1800 und UMTS) 4 Transceivermodule angenommen, d.h. 8 Module für GSM und 4 Module für UMTS. Dies ist auf die Verhältnisse in Steg - Malbun bezogen ein realistisches Maximalszenario. Erstens unterhalten die Liechtensteiner Betreiber zumeist nur ein GSM Band pro Standort, zweitens wird nicht selten nur 1 Transceivermodul pro Sektor verwendet. Für jedes Transceivermodul eines Frequenzbandes wurde die gleiche Konfiguration verwendet.

Standort	Position	Sektoren (Grad)	Downtilt (Grad)	Höhe (m)	Leistung pro Kanal (W)
A1	9° 34' 51" O 47° 06' 55" N	110/140/230 110/140 schmal	3/3/25	20/20/20	1/1/0.1
A2	9° 37' 10" O 47° 06' 11" N	205/235/280 schmal	20/25/15	20/20	1/1/1
A4 (bei I7)	9° 33' 47" O 47° 07' 08" N	60/140	14-20/0-5	10/10	0.1/0.1
P2 (bei A4)	9° 33' 45" O 47° 07' 09" N	60/140	14-20/0-5	10/10	0.1/0.1
P3	9° 36' 22" O 47° 05' 50" N	40/90/140/350 schmal	15/5/-5/15	20/20/20/20	0.1/0.1/0.1/0.1

Die betrachteten Standorte entsprechen zwei Alternativszenarien. Das **Szenario A** beruht auf den von der Enorm GmbH vorgeschlagenen Standorten A1, A2 und A4, das **Szenario P** auf den Standorten P2 und P3. Das Szenario P wurde zusätzlich untersucht, weil der Standort P2 bereits durch Polizeifunk genutzt wird und auch schon in die laufenden Planungen der Mobilfunkbetreiber aufgenommen wurde. Weiterhin gibt es Überlegungen, Malbun vom Standort P3 aus zu versorgen. Wie im Folgenden gezeigt wird, **sind die Standorte P2 und P3 in der Tat geeignet, das hier diskutierte Gesamtgebiet Steg - Malbun zu versorgen.**

5.2.1. Gesamtfeldstärke

Szenario A (alle 3 Standorte)

Die mittlere Feldstärke – aufsummiert über alle Alternativstandorte - erreicht mit höchstens 0.63 V/m den Anlagengrenzwert bei weitem nicht (Abb. 25). Somit ist auch unter Berücksichtigung der Streuung von einzelnen Messwerten keine Überschreitung zu erwarten (Abb. 26). Innerhalb bewohnter Gebiete liegt die mittlere Feldstärke sogar bei maximal 0.18 V/m und somit unterhalb des alten Salzburger Grenzwertes.

Im bebauten Gebiet östlich des Standortes A4 erreicht die mittlere Feldstärke Werte bis zu 0.04 V/m, so dass unter Berücksichtigung der Streuung von Einzelmessungen geringfügige Überschreitungen des neuen Salzburger Grenzwertes (outdoor) möglich sind (Abb. 26). Mittlere Feldstärken von über 0.061 V/m treten jedoch nur im Umkreis von 400 m um den Standort A4 auf, wobei der Höchstwert bei 0.19 V/m liegt (Abb. 25). In der Praxis sind aber nur etwa halb so hohe Belastungen zu erwarten, da das dünnbesiedelte Gebiet kaum von vier GSM und vier UMTS Betreibern gleichzeitig mit mehreren Trägern abgedeckt werden dürfte. Zudem ist zur Versorgung nur eine der beiden Alternativen A1 oder A4 notwendig. Auf Grund der nicht erschlossenen Lage von A1 sind die **Standorte A2 und A4 klar vorzuziehen**.

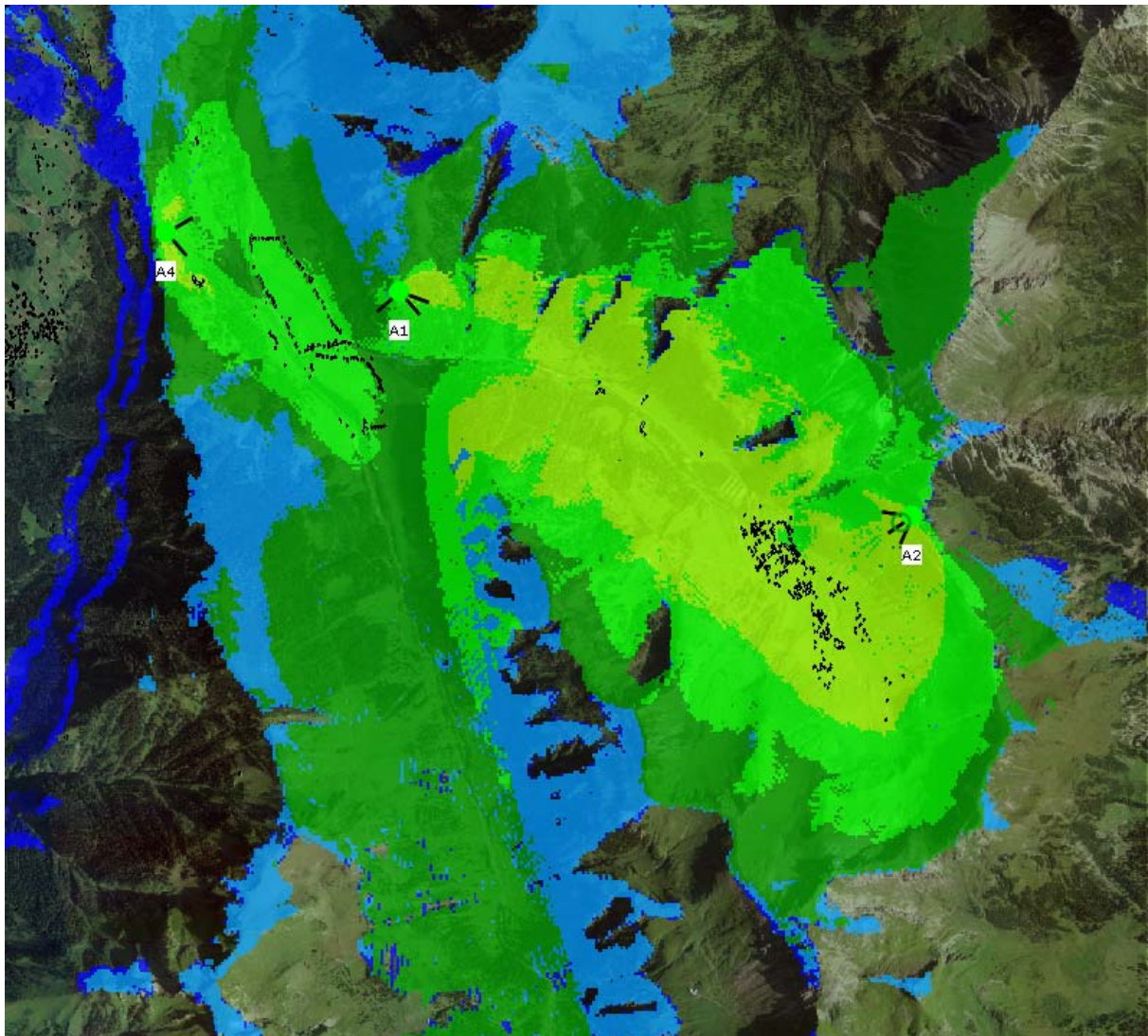


Abb. 25: Zu erwartende Verteilung der mittleren Feldstärke für das alternative Szenario A in Steg - Malbun (50 % Überschreitungswahrscheinlichkeit). Es wird angenommen, dass die veranschlagten Betriebsleistungen voll ausgenutzt und alle Standorte von allen Betreibern verwendet werden. Der Anlagengrenzwert wird weitem nicht erreicht.

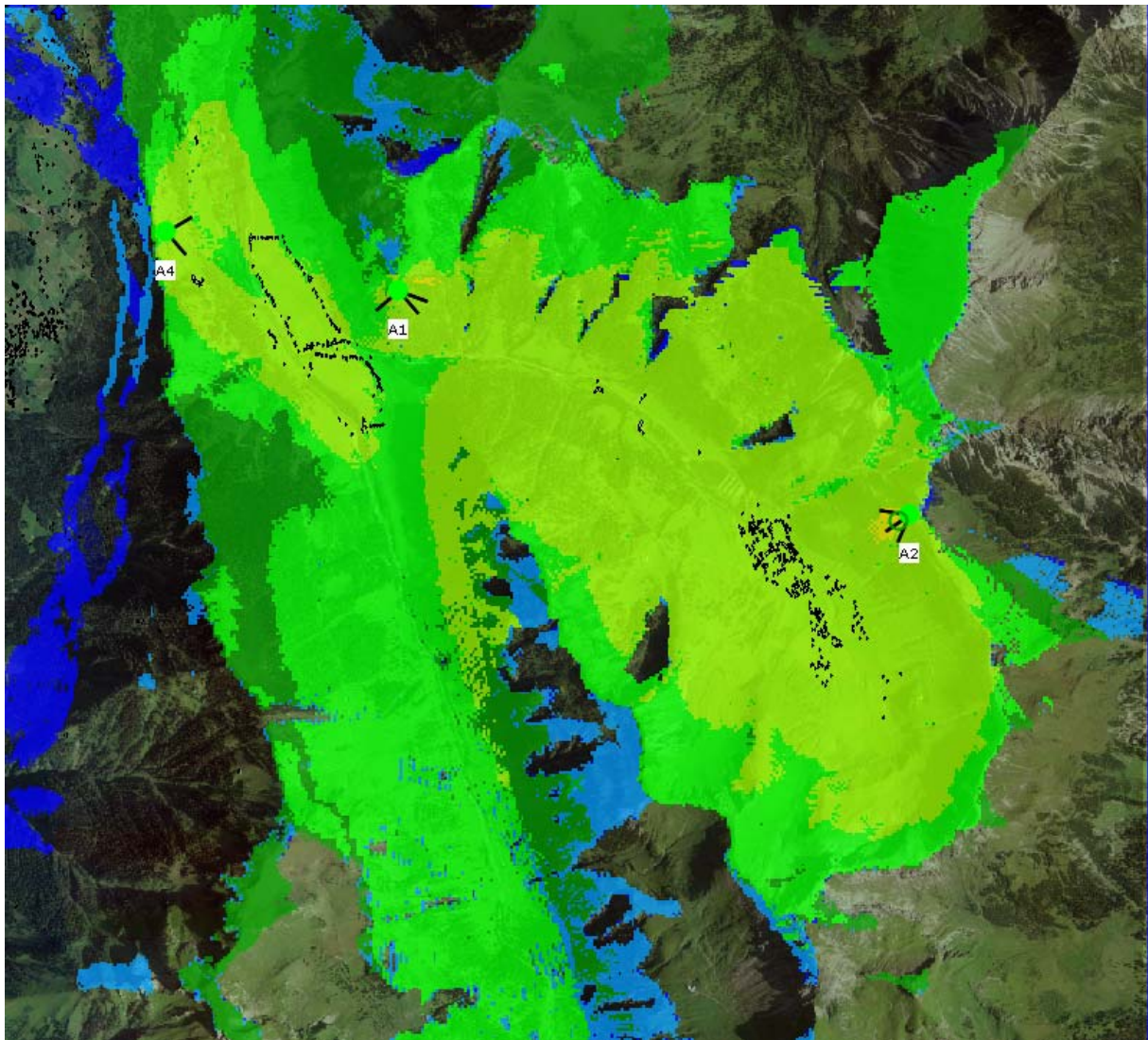


Abb. 26: Zu erwartende Verteilung der mit 5% Wahrscheinlichkeit überschrittenen Feldstärke für das Szenario A in Malbun. Auch unter Anlegung dieses strengen Kriteriums wird der Anlagengrenzwert keinesfalls überschritten.

Szenario P

Auch für dieses Szenario erreicht die mittlere Feldstärke mit einem Maximalwert von 0.33 V/m den Anlagengrenzwert bei weitem nicht (Abb. 27). Innerhalb des bewohnten Gebiets nordöstlich von P3 wird sogar lediglich ein Spitzenwert von 0.08 V/m erreicht.

Im bebauten Gebiet östlich von P2 erreicht die mittlere Feldstärke einen Höchstwert von 0.03 V/m, so dass unter Berücksichtigung der Streuung einzelner Messungen der neue Salzburger Grenzwert (outdoor) noch geringfügig überschritten werden kann (Abb. 28). Mittlere Feldstärken über 0.061 V/m sind auf einen Umkreis von etwa 300 m um die Basisstation beschränkt.

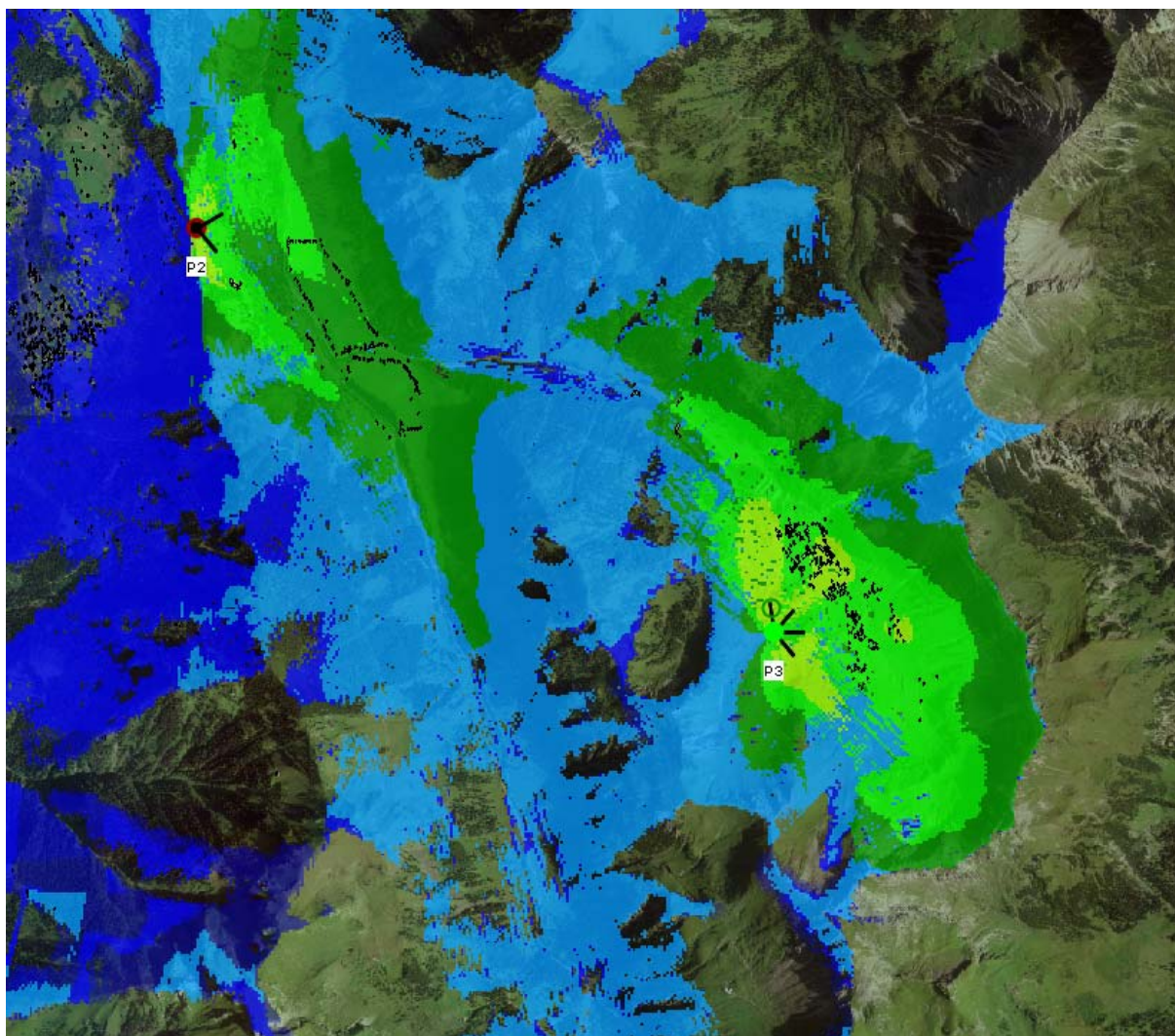


Abb. 27: Zu erwartende Verteilung der mittleren Feldstärke für das alternative Szenario P in Steg - Malbun (50 % Überschreitungswahrscheinlichkeit). Es wird angenommen, dass die veranschlagten Betriebsleistungen voll ausgenutzt und alle Standorte von allen Betreibern verwendet werden. Der Anlagengrenzwert wird bei weitem nicht erreicht.

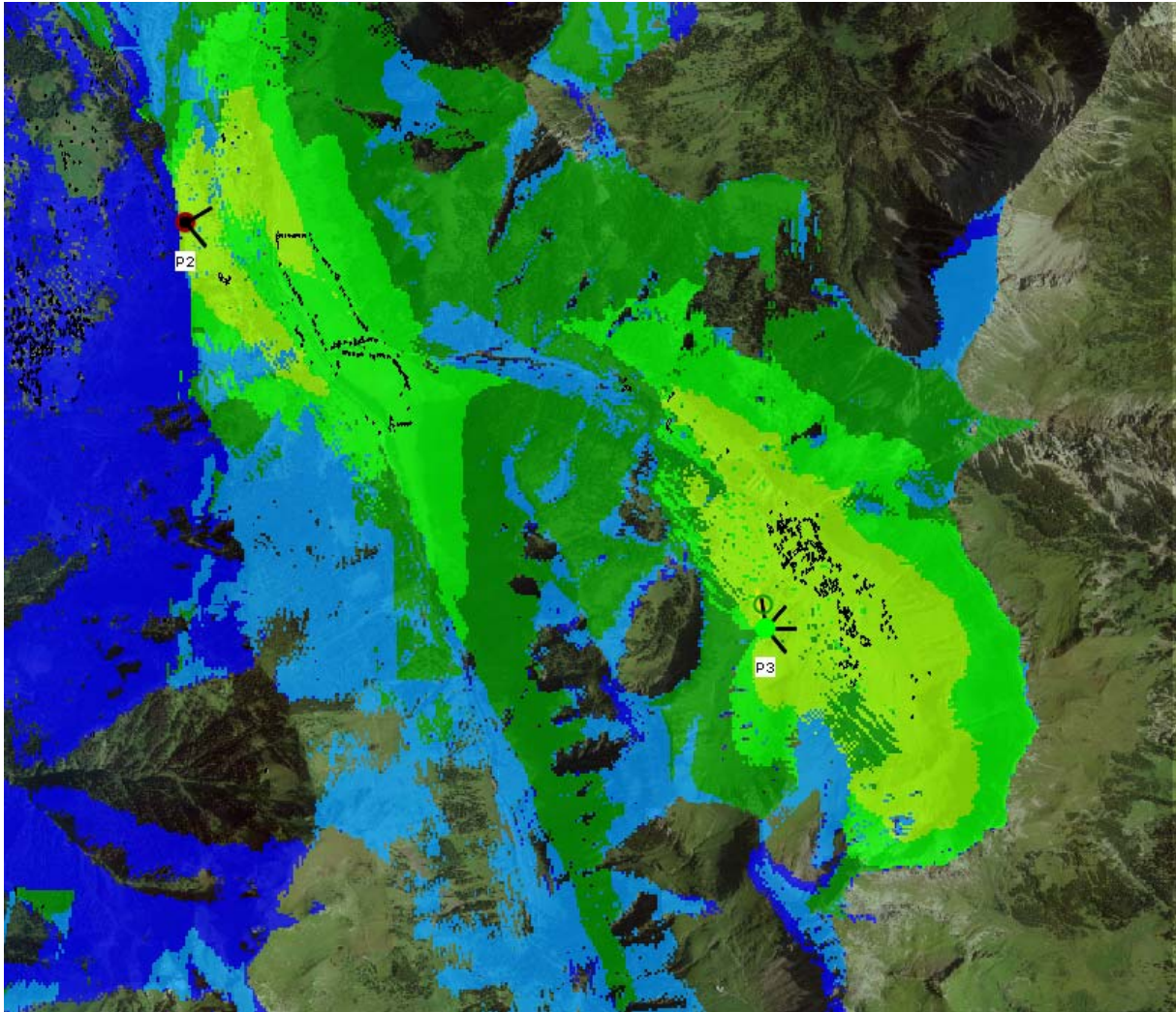


Abb. 28: Zu erwartende Verteilung der mit 5% Wahrscheinlichkeit überschrittenen Feldstärke für das Szenario P in Steg - Malbun. Auch unter Anlegung dieses strengen Kriteriums wird der Anlagengrenzwert keinesfalls überschritten.

5.2.2. Versorgung

Szenario A

In allen drei Frequenzbändern kann innerhalb von Wohngebieten auch innerhalb von Gebäuden ein ausreichender Empfangspegel garantiert werden (hier am Beispiel von GSM 900 aufgezeigt). Dies trifft auch für einen Großteil der Ski-gebiete zu. Unebenheiten des Reliefs führen dort punktuell zu einer mangelhaften Versorgung. Auf Grundlage der ausgewählten Standorte sind zwei Szenarien denkbar:

- **Standorte A2 und A4:** Beide Standorte sind gut erschlossen, A2 durch das Berg-hotel Sareis, und A4 durch den schon vorhandenen Standort I7. A2 versorgt Malbun und die Skigebiete, A4 das Alpengebiet um Steg. A2 ist aufgrund seiner

Lage hoch über Malbun und den geringen Erschließungskosten als Ultra-High-Site geradezu prädestiniert (Abb. 29).

- **Standort A1:** Versorgt fast das gesamte betrachtete Gebiet, wobei das südlich von Malbun liegende Skigebiet aber wesentlich schlechter ausgeleuchtet wird als von A2 aus. Zudem ist der Standort nicht erschlossen. Er ist daher als Ultra-High-Site weniger geeignet als A2 (Abb. 30).

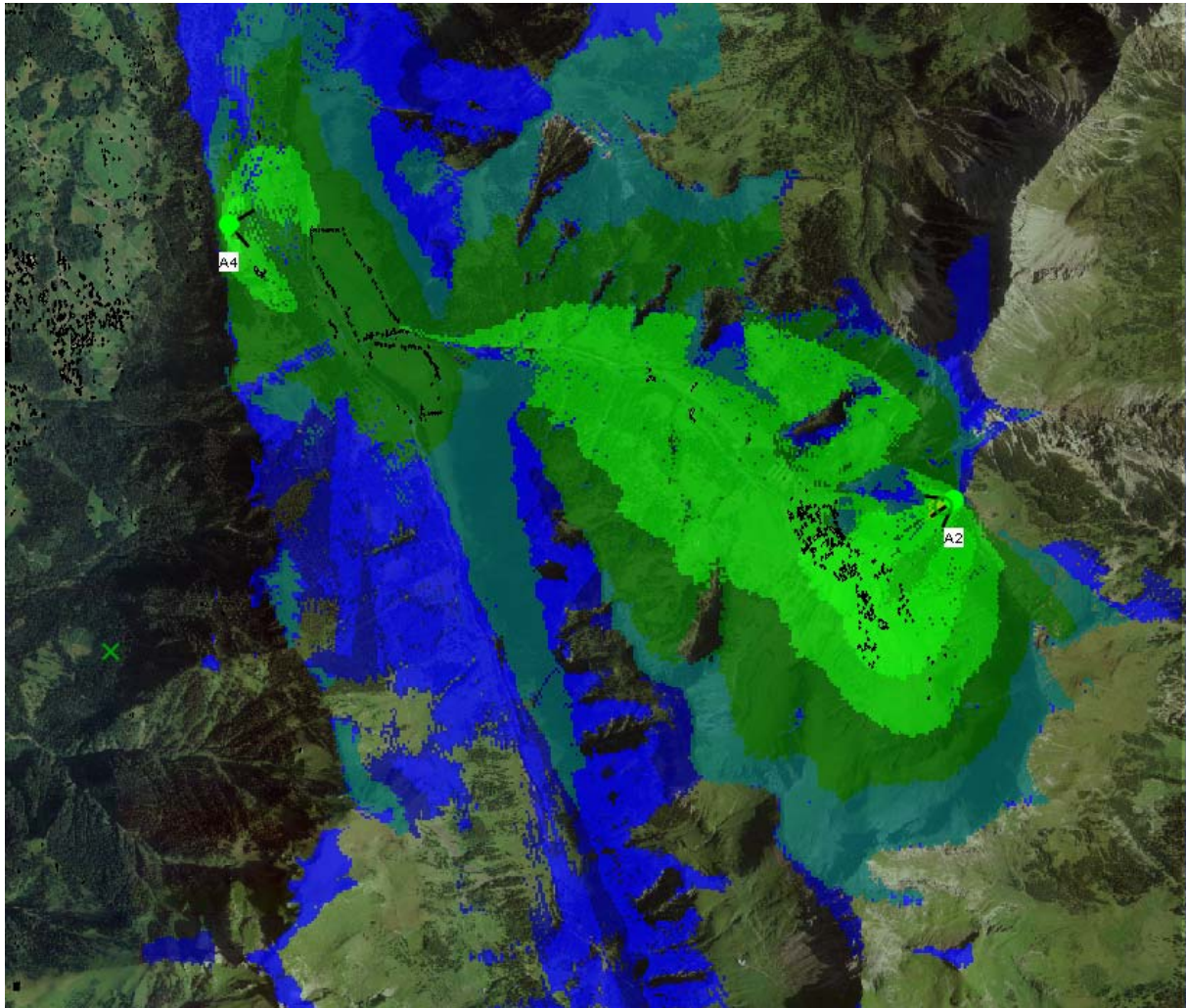


Abb. 29: Zu erwartende Verteilung des Empfangspegels in Steg - Malbun für die alternativen Standorte A2 und A4 im GSM 900 Band. In Wohn- und fast auch allen Skigebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).

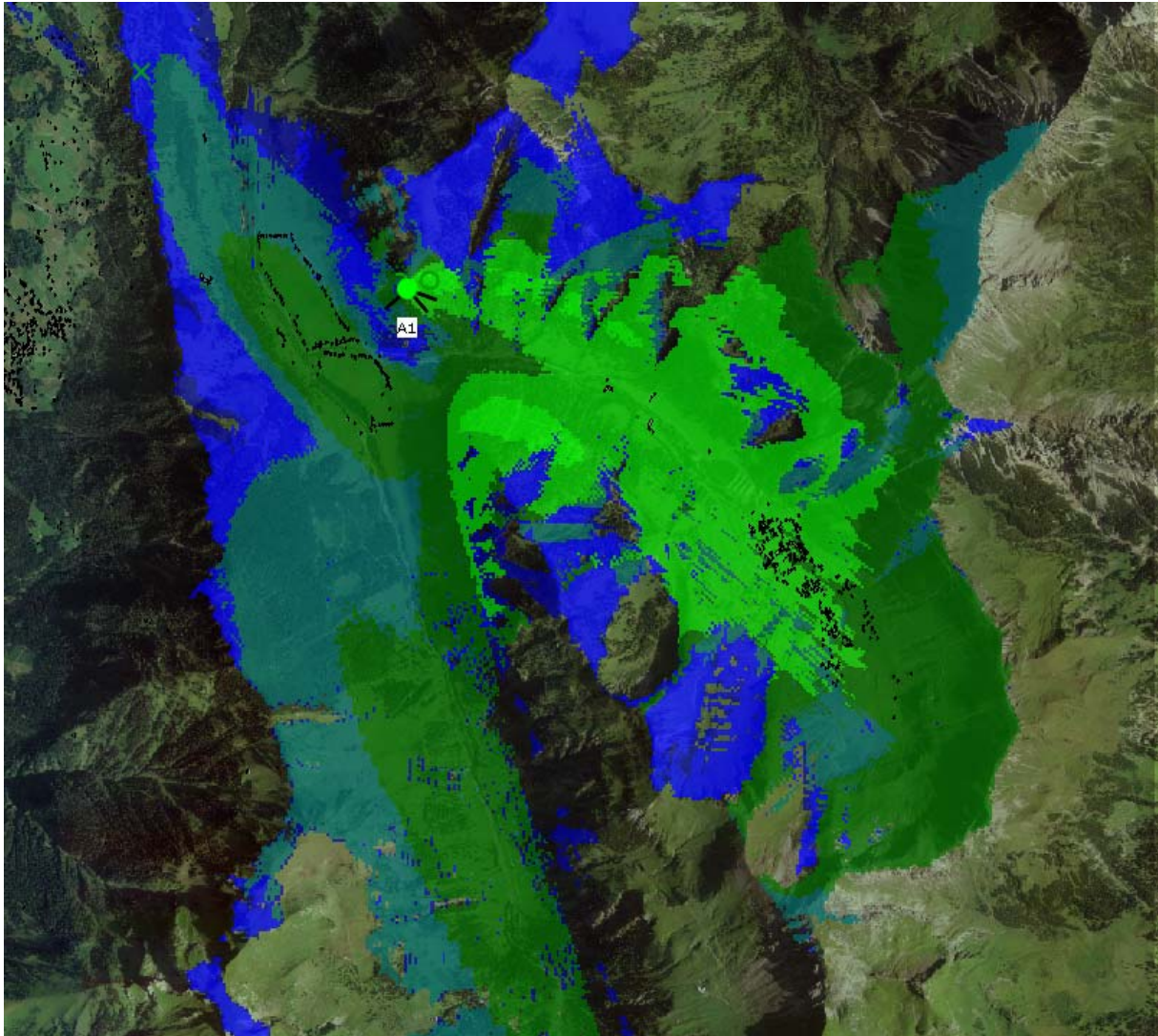


Abb. 30: Zu erwartende Verteilung des Empfangspegels in Steg - Malbun für den alternativen Standort A1 im GSM 900 Band. In Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche), in Skigebieten z.T. nur im Freien (hellblaue Gebiete), was jedoch ausreicht.

Szenario P

Auch dieses Szenario liefert für Wohngebiete eine flächendeckende Versorgung innerhalb von Gebäuden. Reliefbedingt ist das Skigebiet südlich von Malbun von Standort P3 aus schlechter ausgeleuchtet als von Standort A2 aus, ebenso die Straße vom Tunnel nach Steg - Malbun (Abb. 31).

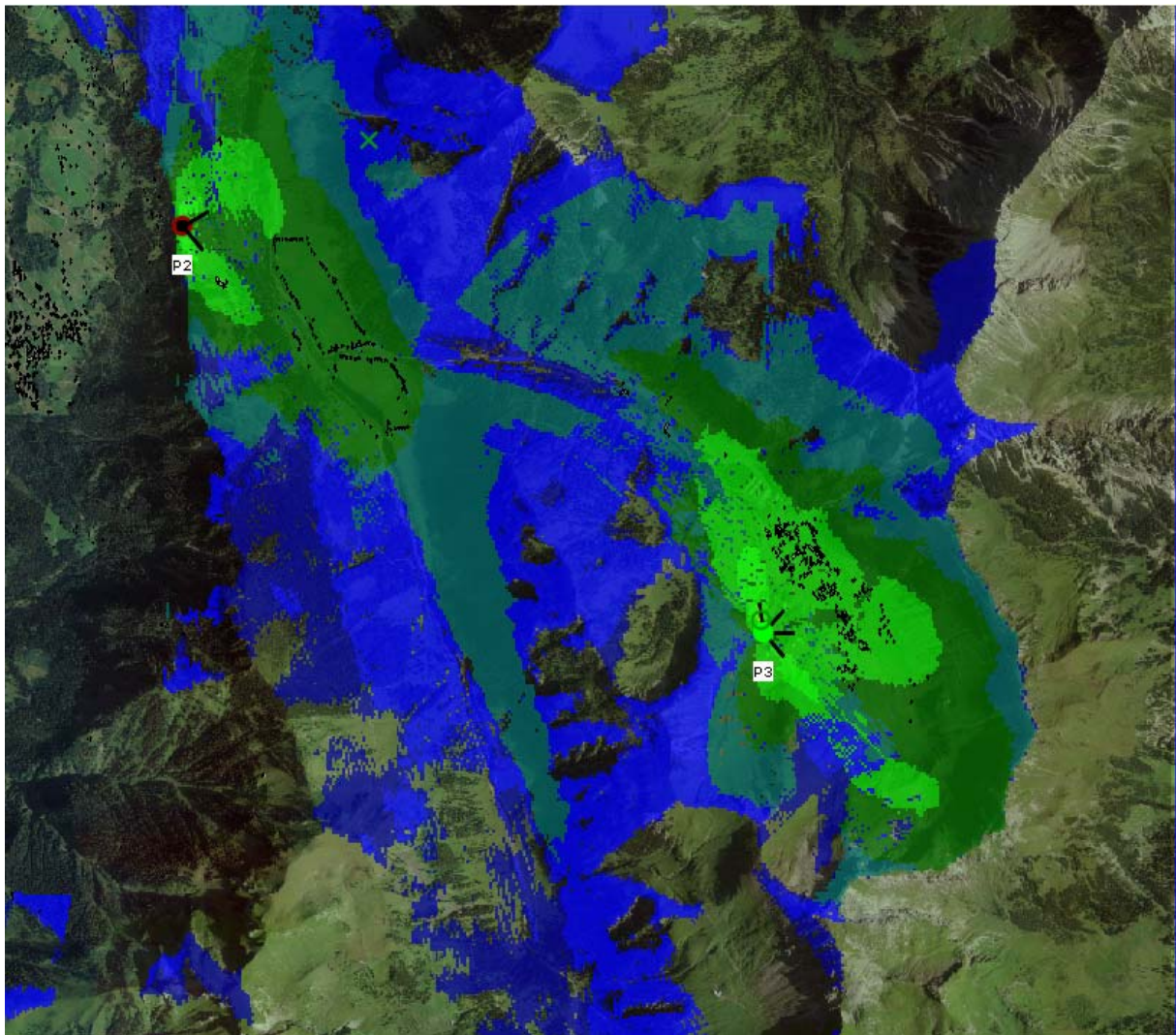


Abb. 31: Zu erwartende Verteilung des Empfangspegels in Steg - Malbun für die alternativen Standorte P2 und P3 im GSM 900 Band. In Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche), in Skigebieten z.T. nur im Freien (hellblaue Gebiete), was jedoch ausreicht.

5.2.3. Vergleich der bestehenden Immission mit den Alternativszenarien

Szenario A

Das zu bevorzugende Alternativszenario mit den Standorten A2 und A4 bietet eine ebenso gute, zum Teil sogar bessere Versorgung wie die jetzt bestehenden Standorte. Gleichzeitig liegt die Spitzenimmission wesentlich niedriger, wie folgende Gegenüberstellung zeigt:

	Ist-Situation	Alternative (worst case)
Maximale mittlere Feldstärke	2.7 V/m	0.63 V/m (Faktor 4 weniger)
Bewohntes Gebiet Malbun	2.7 V/m	0.18 V/m (Faktor 15 weniger)
Bewohntes Gebiet Steg	0.64 V/m	0.04 V/m (Faktor 16 weniger)

Das Weglassen von A1 hat auf die in Abschnitt 3a) aufgezeigte Maximalbelastung keinen Einfluss.

Szenario P

Auch dieses Szenario bietet eine wesentlich geringere Spitzenimmission als die bestehenden Standorte. Um das stark gegliederte Relief abzudecken, ist Standort P3 aber ungünstiger als A2 oder I8.

	Ist-Situation	Alternative (worst case)
Maximale mittlere Feldstärke	2.7 V/m	0.33 V/m (Faktor 8 weniger)
Bewohntes Gebiet Malbun	2.7 V/m	0.08 V/m (Faktor 32 weniger)
Bewohntes Gebiet Steg	0.64 V/m	0.03 V/m (Faktor 21 weniger)

Realistischerweise kann angenommen werden, dass nicht alle Betreiber gleichzeitig und nicht mit der vollen veranschlagten Leistung fahren werden. **Wir gehen damit beim Alternativkonzept realistisch von einer maximalen mittleren Feldstärke von 0.3 V/m in der Nähe der Basisstation, von 0.09 V/m in bewohnten Gebiet Malbun und von 0.03 V/m im bewohnten Gebiet Steg aus. Im restlichen Alpengebiet sind zumeist nur Werte bis zu 0.05 V/m zu erwarten.**

Die hier diskutierten Verhältnisse gelten nur für das GSM Spektrum. Berücksichtigt man die geplanten Sender für Polizei- und UKW-Funk (siehe den folgenden Abschnitt über Niedrigleistungsszenarien), so findet man in unbewohntem Gebiet eine maximale mittlere Feldstärke von 2.2 V/m (unmittelbar neben dem Standort P2). In bebautem Gebiet liegt die maximale mittlere Feldstärke mit 0.19 V/m jedoch selbst in Kombination weit unter dem jetzigen Ist-Zustand und unterhalb des alten Salzburger Grenzwertes.

In Wohngebieten ergibt sich unter Immissionsschutzaspekten somit auch unter Berücksichtigung der außerhalb des GSM-Spektrums liegenden Sender eine signifikante Verbesserung gegenüber der jetzigen Situation, ohne die Versorgung einzuschränken.

6) Diskussion von Niedrigleistungsszenarien

In Zusammenhang mit der Diskussion über Mobilfunkimmissionen werden von verschiedenen Seiten immer noch niedrigere Grenzwerte gefordert. Für das Gebiet Steg – Malbun sind Feldstärkehöchstwerte von 0,02 V/m im Gespräch. Dies entspricht einem Drittel der Feldstärke des neuen Salzburger Indoor- Grenzwertes. Deshalb soll im Folgenden untersucht werden, in wieweit es möglich ist, eine hinreichende Versorgungsqualität bzw. Abdeckung zu erzielen und gleichzeitig in bewohnten Gebieten mit hoher Wahrscheinlichkeit (95%) einen Feldstärkegrenzwert von 0,02 V/m nicht zu überschreiten. Weiterhin wird diskutiert, wie dieser Grenzwert von 0,02 V/m im Vergleich zu weiteren im Gebiet von Steg - Malbun vorhandenen Immissionsquellen, wie z.B. der Handys selbst, Polizeifunk und UKW einzuordnen ist.

6.1. Farbskalen

6.1.1. Feldstärke

Um die Untersuchungsergebnisse optisch übersichtlich darstellen zu können, weichen wir in diesem Abschnitt von der gewohnten Farbverteilung ab und gehen zu einer lediglich zweigeteilten Farbskala für die Darstellung von Feldstärkeverteilungen über (Abb. 32). Die Farben haben dabei folgende Bedeutungen:

Farbe	Bedeutung
Grün	Feldstärke mit mindestens 95 % Wahrscheinlichkeit unter 0.02 V/m
Rot	Feldstärke mit mindestens 5 % Wahrscheinlichkeit über 0.02 V/m

Feldstärke (V/m)	
0.000010	0.020000
0.020000	>5.000000

Abb. 32: Farbskala für Feldstärkeverteilungen

Achtung! Pixel, für die eine Feldstärke von weniger als 0.00001 V/m vorhergesagt wird (was bereits deutlich unter der Empfindlichkeitsgrenze für ein Mobiltelefon liegt), werden nicht mehr dargestellt.

6.1.2. Empfangspegel

Auch für die Darstellung des Empfangspegels wird eine neue, 3-stufige Farbskala verwandt. Dies dient wiederum der Verdeutlichung der Darstellung (Abb. 33). Die Farben haben folgende Bedeutungen:

Farbe	Bedeutung
Blau	Kein stabiler Mobilfunkempfang selbst im Freien
Türkis	Stabiler Mobilfunkempfang im Freien, aber noch nicht innerhalb von Gebäuden
Grün	Stabiler Mobilfunkempfang auch innerhalb von Gebäuden

Leistungspegel (dBm)	
-110	-90
-90	-75
-75	>0

Abb. 33: Farbskala für Empfangspegelverteilungen

Achtung! Pixel, für die ein Empfangspegel von unter -110 dBm vorhergesagt wird (was bereits unter der Detektionsgrenze für ein Mobiltelefon liegt), werden nicht mehr dargestellt.

Die Wahl der Intervalle ergibt sich aus folgenden Überlegungen:

Die Empfindlichkeit eines GSM-Mobiltelefons liegt etwa bei **ca. -105** (-104 bis -107) dBm. Aufgrund von kurzzeitigen Schwankungen des Empfangspegels (Fading), deren Streuung bei ca. 9 (8-10) dB liegt, ist jedoch selbst im Freien ein deutlich höherer mittlerer Empfangspegel notwendig, um eine stabile Verbindung zu gewährleisten.

Will man mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit garantieren, dass das Signal zum Telefonieren ausreicht, muss der Empfangspegel um ca. 15 (13-17) dB höher liegen als die Empfindlichkeit des Handys. Addiert man 15 dB zur Empfindlichkeit des Mobiltelefons dazu, so erhält man einen Pegel von etwa **-90 dBm**. Ein solcher mittlerer Pegel garantiert, dass trotz der Signalschwankungen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % die Empfindlichkeitsgrenze des Mobiltelefons nicht unterschritten wird.

Hält man sich innerhalb eines Gebäudes auf, so tritt durch die Absorption der Wände ein erheblicher Leistungsverlust auf, der stark material-, aber auch frequenzabhängig ist. Während bei einem Einfamilienhaus aus Stein der Verlust nur bei etwa 10-15 dB liegt, beträgt er für ein Bürogebäude mit Glasfassade etwa 20-25 dB. Somit ist im ersteren Fall eine stabile Versorgung nur ab -80 bis -75 dBm garantiert, im letzteren sogar erst ab -70 bis -65 dBm. Da in Steg – Malbun keine großen Bürogebäude und z.T. sogar nur Holzhäuser stehen, kann hier für die Indoor- Versorgung ein Pegel von **-75 dBm** als ausreichend betrachtet werden.

6.2. Rechnerische Abschätzung

Bevor eine Simulation der Feldstärkewerte und Empfangspegel mit dem Ziel, 0,02 V/m in bewohnten Gebieten nicht zu überschreiten, gestartet wurde, haben wir folgende rein rechnerische Abschätzung vorgenommen.

Der Empfangspegel **P** (in dBm) kann aus der Feldstärke **E** (in V/m) und der Frequenz **f** (in MHz) folgendermaßen berechnet werden:

$$P \text{ [dBm]} = 42.8 + 20 \log (E \text{ [V/m]} / f \text{ [MHz]})$$

Mit Hilfe dieser Formel kann also an Hand der an einem Ort festgestellten Feldstärke für einen betrachteten Frequenzkanal der Pegel bestimmt werden.

Da 0,02 V/m ähnlich wie die jetzt existierenden Grenzwerte nicht nur nicht im Mittel, sondern überhaupt nicht überschritten werden sollen, darf die mittlere vorhergesagte (oder auch gemessene) Feldstärke nicht über **0,0064 V/m⁴** liegen.

Dieser Wert garantiert, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% der Wert 0,02 nicht erreicht bzw. überschritten wird.

0.0064 V/m entsprechen folgenden Empfangspegeln:

GSM 900: -60 dBm

GSM 1800: -66 dBm

Diese bloße Umrechnung des maximal erlaubten Feldstärkewertes zeigt bereits Pegelwerte, die nahe an der Grenze für stabile Indoorversorgung liegen.

Bei dieser Umrechnung wurde jedoch von nur einem einzigen Frequenzkanal ausgegangen. Da im Gebiet Steg - Malbun alle 4 Liechtensteiner Betreiber mit mehreren Kanälen vertreten sind, müssen wir von einer realistischen Annahme ausgehen, und die zur Verfügung stehende Gesamtfeldstärke unter den Betreibern und Kanälen aufteilen. Für jeden Kanal steht somit nur ein Bruchteil des oben abgeschätzten Empfangspegels zur Verfügung. Geht man nun wie in Kapitel IV von 8 GSM und 4 UMTS Modulen pro Sektor aus, so steht jedem Kanal nur noch 1/12 der Leistung und somit eine maximale Feldstärke von 0,0018 V/m zur Verfügung, d.h. obige Pegel müssen um 11 dB reduziert werden:

GSM 900: -71 dBm

GSM 1800: -77 dBm

Schon die Abschätzung zeigt, dass ein Vorgabewert von 0.02 V/m nur im engsten Umkreis um die Basisstation einen gerade noch ausreichenden Empfangspegel für stabilen indoor Handyempfang zulässt.

⁴ 95% Einhaltungswahrscheinlichkeit bedeutet, dass von den 0.02 V/m noch das 1,66-fache der Standardabweichung von 3 dB, d.h. 5 dB zu subtrahieren sind.

Im Folgenden werden zwei Niedrigleistungsszenarien dargestellt, welche obige Abschätzung voll bestätigen.

6.3. Szenarien

6.3.1. Szenario A

mit den Standorten P2 und P3

Für dieses Szenario wurden die alternativen Standorte P2 und P3 unverändert übernommen, die Leistung pro Kanal aber auf 1 mW gesenkt. Die entsprechende Feldstärkeverteilung (höchstens 5% Überschreitungswahrscheinlichkeit) ist in Abb. 34, die Empfangspegelverteilung für das GSM 900 Band in Abb. 35 dargestellt.

Anmerkung: Die Absenkung der Leistung eines Kanals auf maximal 1 mW ist mit heute kommerziell erhältlichen Basisstationen nicht ohne zusätzliche Dämpfungsglieder möglich. Zudem müssten die HF-Komponenten und Leitungen speziell abgeschirmt werden, da ansonsten die Leckstrahlung stärker als die eigentliche Abstrahlung sein würde. In wieweit dies ohne größere Probleme überhaupt realisierbar ist, müsste mit den Herstellern geklärt werden. In jedem Fall würde solch eine Maßnahme zu einer hohen Kostenbelastung für die Betreiber führen.

Die Feldstärkeverteilung zeigt, dass selbst mit Basisstationen einer solch niedrigen Leistung von 1 mW pro Kanal Überschreitungen eines Vorgabewertes von 0.02 V/m auftreten. Die mittlere Feldstärke erreicht nördlich von P3 einen Spitzenwert von 0.033 V/m, was den angestrebten Mittelwert von 0.0064 V/m (entspricht 0,02 V/m Spitzenwert) um das Fünffache übertrifft. Es ist jedoch nicht sinnvoll, noch geringere Leistungen zu betrachten, da eine Absenkung unter 1 mW pro Kanal wie oben ausgeführt nur mit hohem technischem Aufwand aber ungewissem Effekt zu erreichen ist.

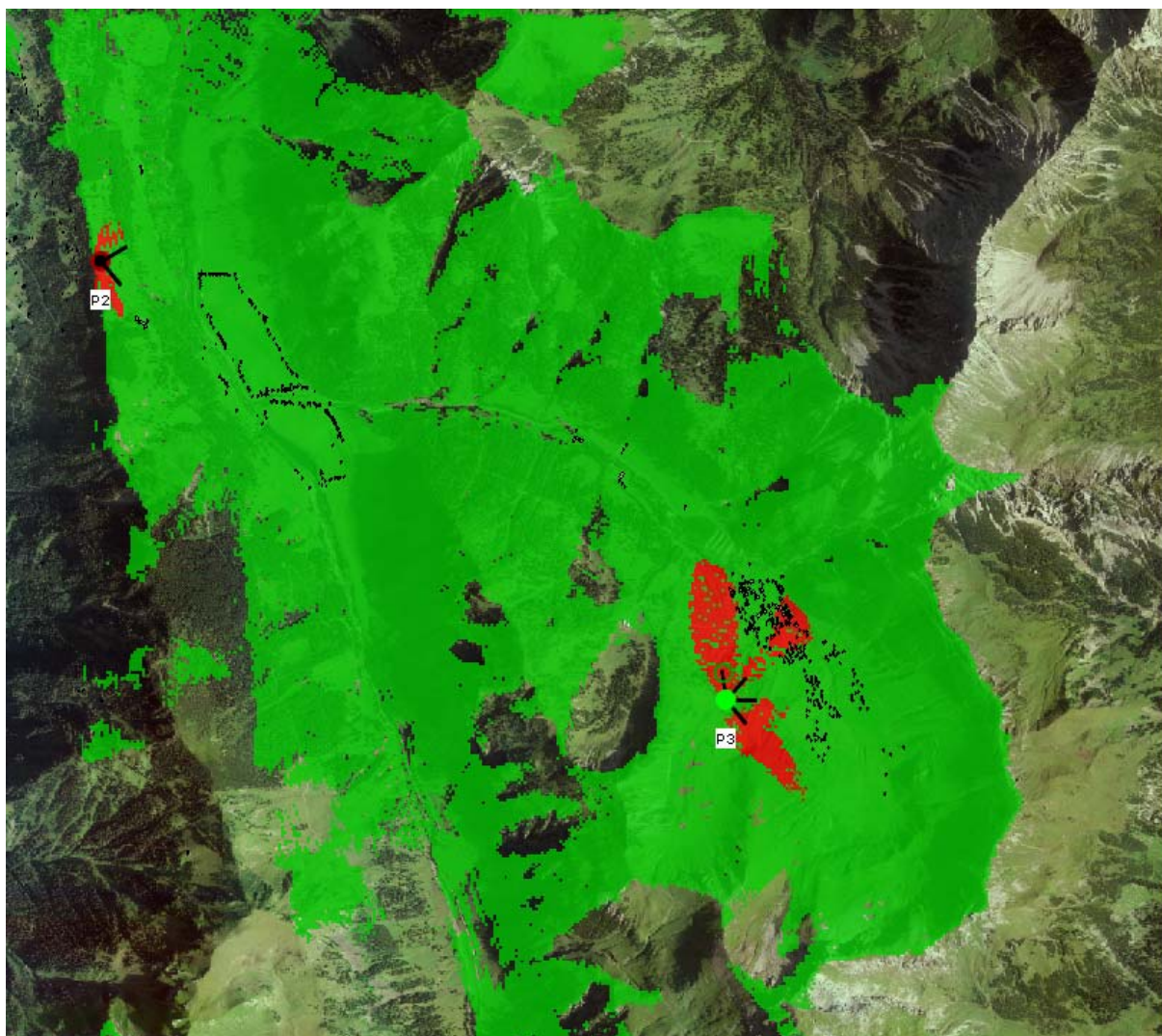


Abb. 34: Verteilung der mit 95% Wahrscheinlichkeit eingehaltenen Feldstärke für das Niedrig-Leistungsszenario A. Trotz der extrem geringen Ausgangsleistung der Basisstationen (1 mW pro Kanal) wird der Vorgabewert von 0.02 V/m punktuell überschritten (roter Bereich). Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 5.8 km * 5.6 km.

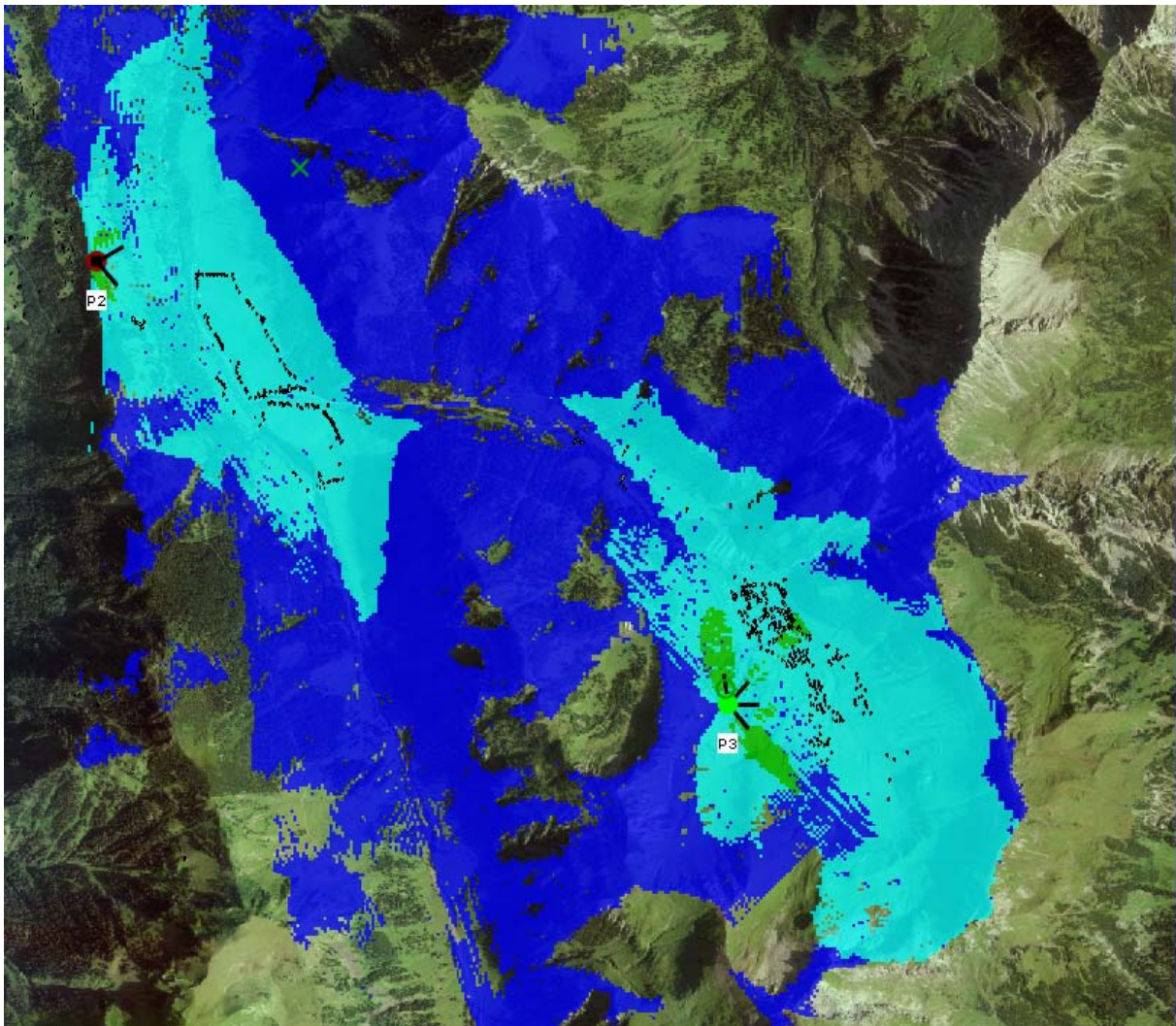


Abb. 35: Verteilung des Empfangspegels für das Niedrigleistungsszenario A im GSM 900 Band. Die Bereiche mit ausreichendem Empfangspegel indoor (grün) sind mit denjenigen zu hoher Feldstärke fast deckungsgleich. Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 5.8 km * 5.6 km.

Der Vergleich der Feldstärke- mit der Empfangspegelverteilung für das GSM 900 Band zeigt, dass meist nur dort, wo der Vorgabewert von 0.02 V/m überschritten wird, der Empfangspegel für eine stabile Mobilfunkversorgung innerhalb von Gebäuden ausreicht. Da die Umrechnung von Feldstärke in Empfangspegel für das GSM 1800 Band um 6 dB niedrigere Werte liefert als für das GSM 900 Band, sind für dieses Band die Verhältnisse noch ungünstiger. Eine weitere Absenkung der Kanalleistung wäre also nicht nur sehr aufwendig, sondern würde zwangsläufig zu Versorgungslücken führen.

6.3.2. Szenario B

mit den Standorten N1, N2 und N3

Für ein zweites Szenario wurden gleichartige Rundstrahler im Ortsgebiet von Malbun betrachtet. Die Antennenhöhe wurde jeweils mit 20 m, der Downtilt mit 0° angesetzt. Das horizontale Antennendiagramm wurde mit den schon im Rahmen der Ultra High Site Szenarien erläuterten Formeln beschrieben, wobei nun eine Halbwertsbreite $\alpha = 15^{\circ}$ verwendet wurde. Wie für das Szenario A wurden eine Kanalleistung von 1 mW, und 4 Kanäle (2 Betreiber mit je 2 Kanälen) für jedes Frequenzband (GSM 900, GSM 1800 und UMTS) angenommen.

Die Feldstärkeverteilung des Szenarios ist in Abb. 36, die Empfangspegelverteilung für das GSM 900 Band in Abb. 37 dargestellt. **Wieder fallen die Gebiete von Vorgabewertüberschreitung und ausreichendem Empfangspegel fast zusammen.** Der Höchstwert der mittleren Feldstärke liegt hier bei 0.015 V/m, also dem $2 \frac{1}{2}$ fachen des angestrebten Maximums von 0.0064 V/m (siehe die rechnerische Abschätzung auf S.70).

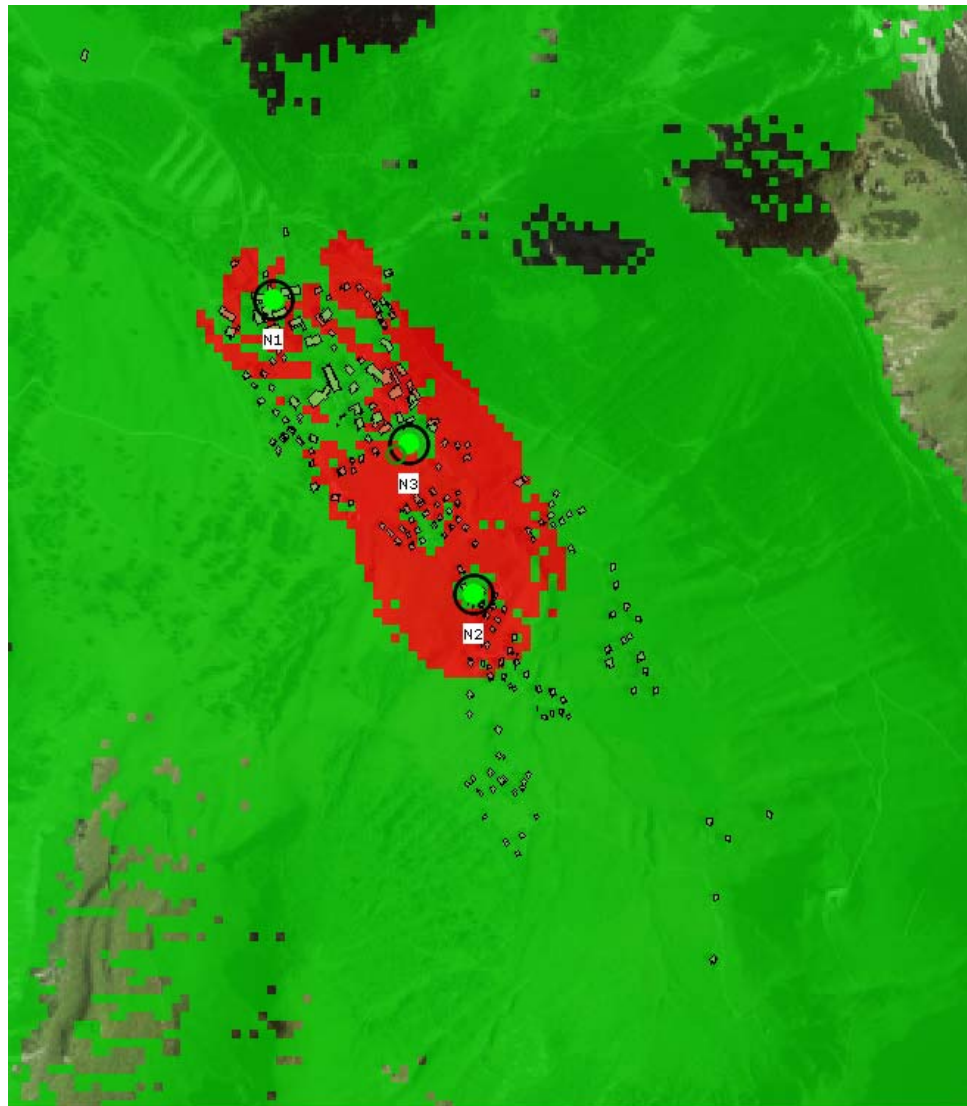


Abb. 36: Verteilung der mit 95% Wahrscheinlichkeit eingehaltenen Feldstärke für das Niedrigleistungsszenario B. Trotz der extrem geringen Ausgangsleistung der Basisstationen (1 mW pro Kanal) wird der Vorgabewert von 0.02 V/m erneut überschritten (roter Bereich). Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 1.6 km * 1.9 km.

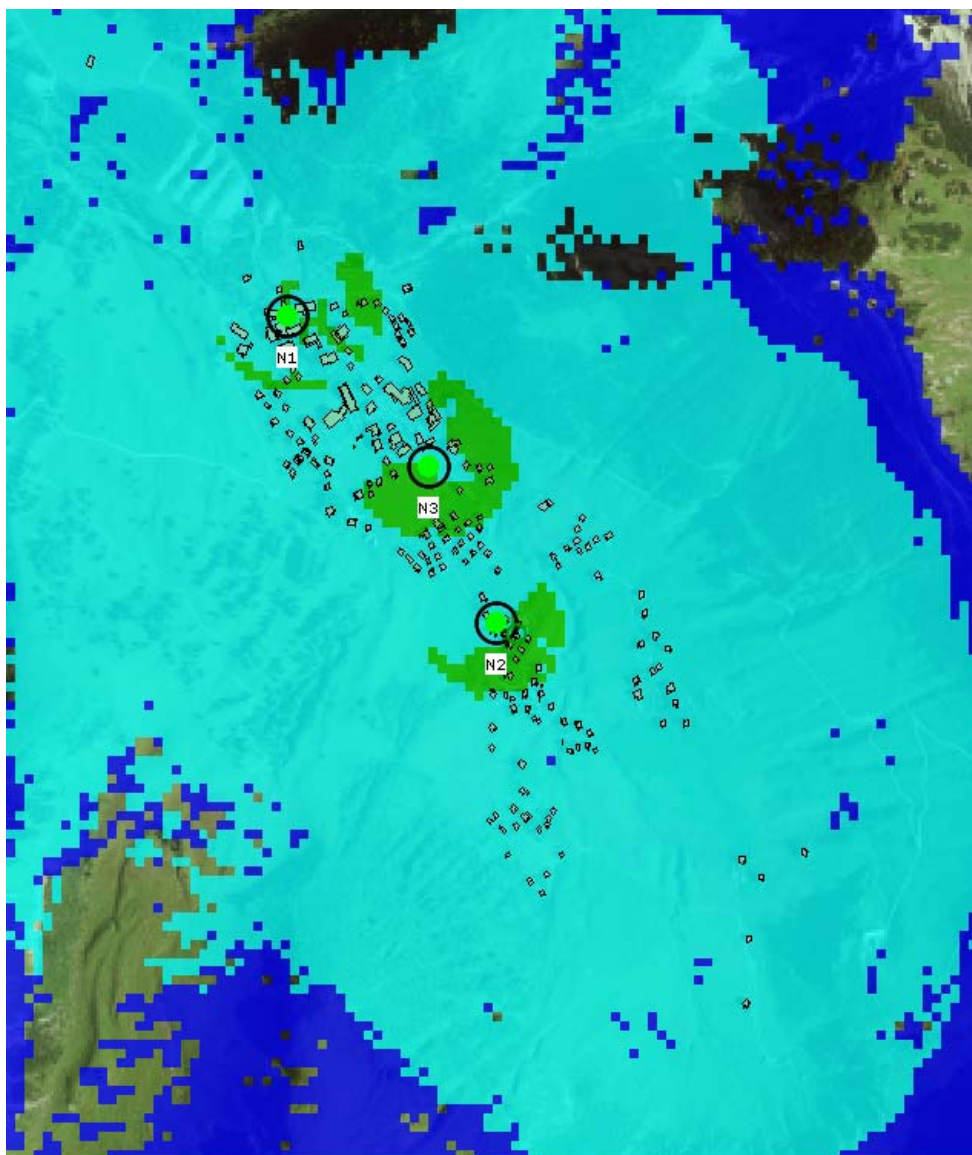


Abb. 37: Verteilung des Empfangspegels für das Niedrigleistungsszenario B im GSM 900 Band. Wieder sind die Bereiche mit ausreichendem Empfangspegel (grün) mit denjenigen zu hoher Feldstärke fast deckungsgleich. Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 1.6 km * 1.9 km.

6.4. Beitrag der Mobiltelefone

6.4.1. Szenario

Nicht nur Basisstationen jeder Art, sondern auch Mobiltelefone stellen selbstverständlich Strahlungsquellen dar. D.h. auch die Strahlung, die von den Handys selbst emittiert wird, beeinflusst die Immission nicht nur für den Nutzer, sondern auch das umliegende Gebiet im Umkreis von mehreren 100 Metern. Um den Einfluss der Handys abzuschätzen, wurden 5 isotrope Strahler (simulierte Handys) gleichmäßig über das bebaute Gebiet von Malbun verteilt, welche teils im GSM 900, teils im GSM 1800 Band betrieben werden und sich jeweils 1.5 m über dem Boden befinden. Die Leistung jedes Strahlers wurde mit 0.1 W angesetzt. Dabei sind wir davon ausgegangen, dass Malbun künftig vom Standort P3 aus versorgt wird. Hierfür stellen 0,1 W ein eher optimistisches Szenario dar.

Die entsprechende Feldstärkeverteilung ist in Abb. 38 gegeben.

6.4.2. Abschätzung des Telefonieraufkommens

Je weiter die Mobilfunkmasten von den Handys entfernt sind, mit desto höherer Leistung senden diese und desto höher wird damit deren Anteil an der Gesamtimmission. Eine Verringerung der Immission durch Herausrücken der Masten aus den Ortskernen funktioniert nur theoretisch unter Vernachlässigung des Beitrags durch die Mobiltelefone.

Im Gebiet Steg - Malbun leben ca. 220 Menschen, hinzukommen 660 Gästebetten. Geht man nun davon aus, dass durchschnittlich 500 Menschen sich in diesem Gebiet aufhalten, so kann man aller Erfahrung nach (Verkehrstheorie) davon ausgehen, dass zu Hauptzeiten ca. 12 und zu Nebenzeiten 4-5 Handynutzer gleichzeitig telefonieren. Lediglich in den Nachtstunden sind geringere Auslastungen zu erwarten. Während der Skisaison werden diese Zahlen bei weitem übertroffen.

Gemäss Liechtensteiner NISV wäre also maßgeblicher Betriebszustand die maximale Sendeleistung anzunehmen, im Falle der Betrachtung der Endgeräte müsste also nicht von einem mittleren Verkehrsszenario ausgegangen werden, sondern von einem geschätzten maximalen Aufkommen. Aufgrund der Kapazität der Netze wären dies dann sicher mehr als 10- oder 20- mal so viele Mobiltelefone.

6.4.3. Auswertung

Bereits durch nur 5 Handys verteilt über Malbun wird in weiten Bereichen des diskutierten Gebiets der zu untersuchende Vorgabewert von 0.02 V/m überschritten (roter Bereich in Abb. 38). Die mittlere Feldstärke erreicht Werte von bis zu 0.09 V/m.



Abb. 38: Verteilung der mit 95% Wahrscheinlichkeit eingehaltenen Feldstärke für ein Mobiltelefon-szenario. Der Vorgabewert von 0.02 V/m wird trotz der relativ niedrigen Ausgangsleistungen (0.1 W) fast im gesamten Wohngebiet überschritten (roter Bereich). Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 1.6 km * 1.9 km.

Abb. 39 zeigt die Pegelverteilung für ein solches betrachtetes Handy mit 0,1 W Sendeleistung. Die Basisstation P3 registriert ein solches Telefon mit einem Empfangspegel von etwa -70 dBm. Fällt der Pegel unter diesen Wert, so wird das Mobiltelefon üblicherweise schon aufgefordert, seine Leistung zu erhöhen. Dadurch soll frühzeitig Signaleinbrüchen vorgebeugt werden, die zu einer erhöhten Bitfehlerrate oder gar dem Zusammenbruch der Verbindung führen können.

Die hier gezeigte Simulation verwendet damit für dieses Handy genau die minimal mögliche Leistung. Entfernte sich dieses Handy weiter von der Basisstation, würde dies automatisch zu einer erhöhten Sendeleistung führen und damit zu weiter erhöhten Immissionswerten.

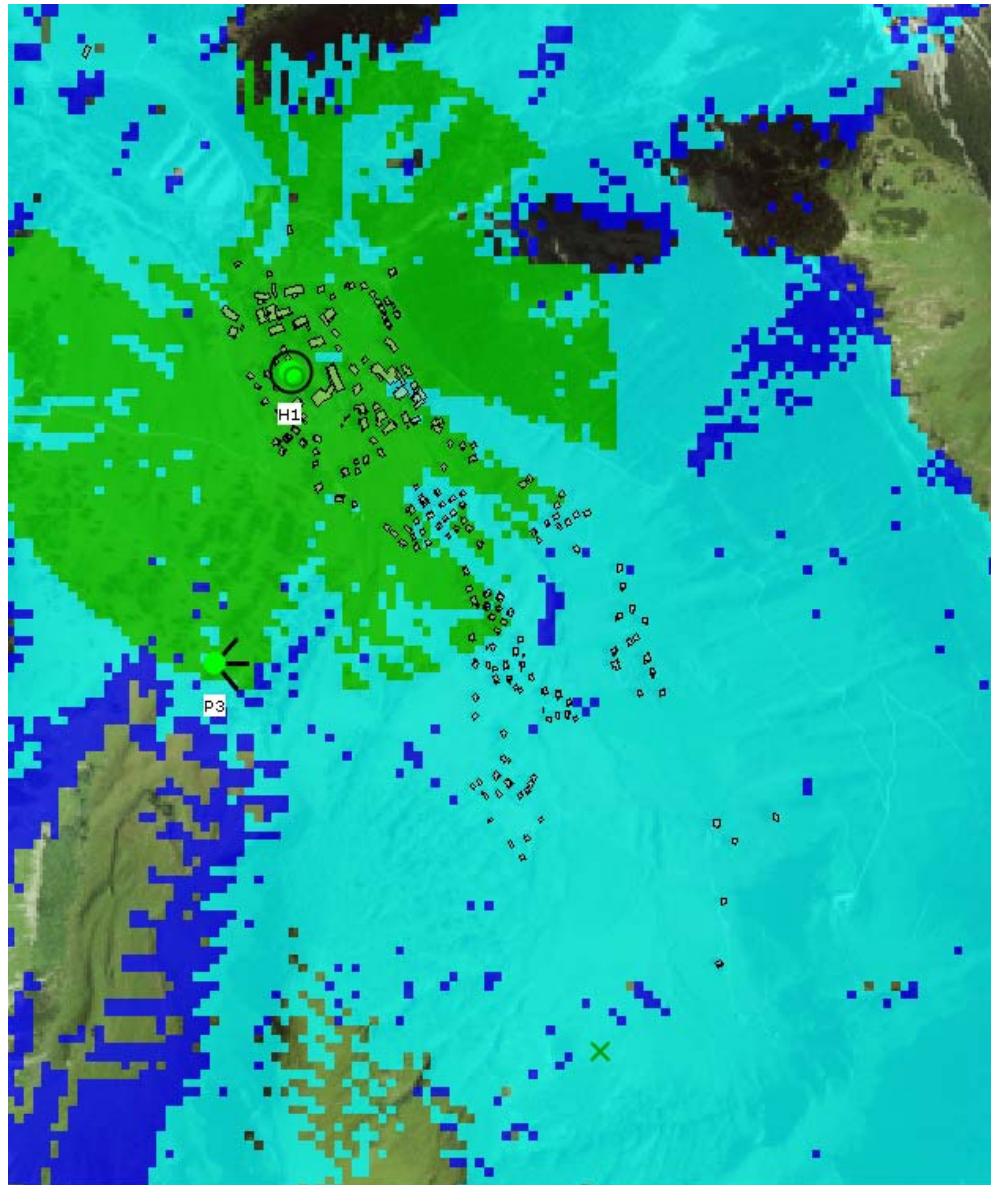


Abb. 39: Verteilung des Empfangspegels, mit dem ein als isotroper Strahler (Leistung 0.1 W) modelliertes Mobiltelefon registriert wird. An Standort P3 liegt der Pegel schon nahe der Grenze, unterhalb derer das Handy zur Erhöhung der Sendeleistung aufgefordert wird (hell- und dunkelblauer Bereich). Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 1.6 km * 1.9 km.

Als Vergleich einer ähnlichen Betrachtung bietet sich eine Untersuchung (IMST+EM-
INSTITUT 2005⁵) im Auftrag des Bayerischen Umweltministeriums an. Dort wird in

⁵ Download unter <http://www.bayern.de/lfu/laerm/emv/index.html> , dort unter „Minimierung von Immissionen, Schirmung“ ist der Bericht in 9 Teilen abrufbar; Verfasser: EM-Institut GmbH: „Möglichkeiten

Tab. 3.7: „Zusammenfassende Darstellung der Simulationsrechnungen“ beispielhaft berechnet, welche Immissionen **Handys in Innenräumen** erzeugen können:

Situation	Gemittelte elektrische Feldstärke im Raum
Ein Telefon im Raum betrieben	2,0 - 2,3 V/m
Drei Telefone gleichzeitig im Raum betrieben	3,81 V/m
Basisstation in 50 Meter Entfernung (direkte Sichtverbindung)	3,04 V/m
Basisstation auf dem eigenen Gebäudedach, keine Reflexionen an Nachbargebäuden	0,65 V/m
Basisstation auf dem eigenen Gebäudedach, starke Reflexionen an Nachbargebäuden vorhanden	2,08 V/m
Basisstation in 50 Meter Entfernung (keine direkte Sichtverbindung, jedoch Ausbreitung über starke Reflexionen an Nachbargebäuden)	2,64 V/m

und Grenzen der Minimierung von Mobilfunkimmissionen: Auf Messdaten und Simulationen basierende Optionen und Beispiele“, Regensburg Dezember 2004;

6.4.4. Zusammenfassung

Obige Untersuchungen zeigen eindeutig, dass ein flächendeckender Vorgabewert von 0,02 V/m in bebauten Gebieten nicht nur zum Verlust der Indoor- Telephonie, sondern zu erheblichen Abdeckungslücken außerhalb der Gebäude führen würde. Schon die Umrechnung des Feldstärkewertes in Empfangspegel macht deutlich, dass hier bereits die rein physikalischen Grenzen eines GSM-Mobilfunksystems erreicht würden.

Es gibt zwar keine Praxiserfahrungen an Basisstationen mit derart geringer Ausgangsleistung, aber wir haben ein solches Szenario ernsthaft untersucht. Unsere Erwartung in einer Umsetzung mit heutiger Technik wäre, dass die Emissionen an sonstigen Bauteilen und damit auch alle Störungen höher wären, als die eigentlich abgegebene Sendeleistung an der Antenne.

Durch die Anwesenheit weiterer Emissionsquellen, z.B. Radio, Polycom aber auch der Mobilfunkendgeräte selbst, deren Immissionen für sich schon weit über dem zu untersuchenden Vorgabewert liegen, der Sinn eines solchen Wertes für die Mobilfunkbasisstationen in Frage gestellt.

Durch das optimierte Standortsszenario A konnte die maximale mittlere Feldstärke mit 0.19 V/m in bebautem Gebiet und insgesamt 0,63 V/m in der Fläche im Vergleich zu heute wesentlich minimiert werden und liegt knapp über dem alten Salzburger Grenzwertes von 0,6 V/m.

Dies dürfte die mit heutiger Technik sinnvolle untere Grenze einer Feldbelastung bei funktionierenden Mobilfunknetzen darstellen.

Wir würden empfehlen, dieses Szenario A oder das Alternativkonzept P konkret umzusetzen.

6.4.5. Sender außerhalb des GSM- bzw. UMTS- Spektrums

Im Untersuchungsgebiet sind zwei Sender für Polizeifunk sowie ein UKW-Sender mit folgenden Parametern genehmigt:

Standort	Frequenz	Position	Sektoren (Grad)	Downtilt (Grad)	Höhe (m)	Watt pro Kanal
P1	390 MHz	9° 37' 13" O 47° 06' 11" N	220/330	10/10	18/18	9.5/9.5
P2	390 MHz	9° 33' 45" O 47° 07' 09" N	10/160	0/0	6/6	12.6/12.6
P2	UKW, ca. 100 MHz	9° 33' 45" O 47° 07' 09" N	120	0	4	21.4

Da für deren Frequenzen keine Eichmessungen existieren, wurden die für den GSM-Bereich bestimmten Reflexions- und Beugungskoeffizienten beibehalten. Den für niedrigere Frequenzen besseren Ausbreitungsbedingungen wurde dadurch Rechnung getragen, dass im Vergleich zu GSM etwas niedrigere Pathloss-Exponenten angenommen wurden. Diese wurden durch Interpolation der bekannten Exponenten errechnet.

Für die Simulation ist in diesem Fall von einem etwas größerem Fehlerintervall - verglichen zu GSM- auszugehen.

Frequenzband	Exponent
GSM	2.11 – 2.20
Polycom	2.10
UKW	2.00

Die Feldstärkeberechnung stellt somit eine Abschätzung nach unten dar, die Ausleuchtung wird in Wirklichkeit eher etwas besser sein als in den Abb. 41 und Abb. 42 dargestellt. Der Feldstärkebeitrag des Polizei- und UKW-Funks wird wieder mit der gewohnten Farbskala dargestellt.

Feldstärke (V/m)	
<0.000061	
0.000061	0.000610
0.000610	0.006100
0.006100	0.020000
0.020000	0.061000
0.061000	0.610000
0.610000	5.000000
5.000000	46.000000
>46.000000	

Abb. 40: Farbskala für die Feldstärkeverteilung

6.4.6. Polycom

Die mittlere Feldstärke im Frequenzband des Polizeifunks (Polycom) erreicht im Bereich des Standortes P2 ein Maximum von 1,2 V/m, im Bereich des Standortes P1 von 0,9 V/m. **In bebauten Gebieten werden immerhin noch Mittelwerte von 0,13 V/m (d.h. Spitzenwerte von 0,40 V/m) erreicht.**

Da bereits durch den Polizeifunk der zu überprüfende Vorgabewert von 0,02 V/m um etwa das Zwanzigfache überschritten wird, hat die Diskussion dieses Vorgabewertes für Mobilfunk wenig Sinn, es sei denn man würde den Bereich um 400 MHz ausgrenzen.

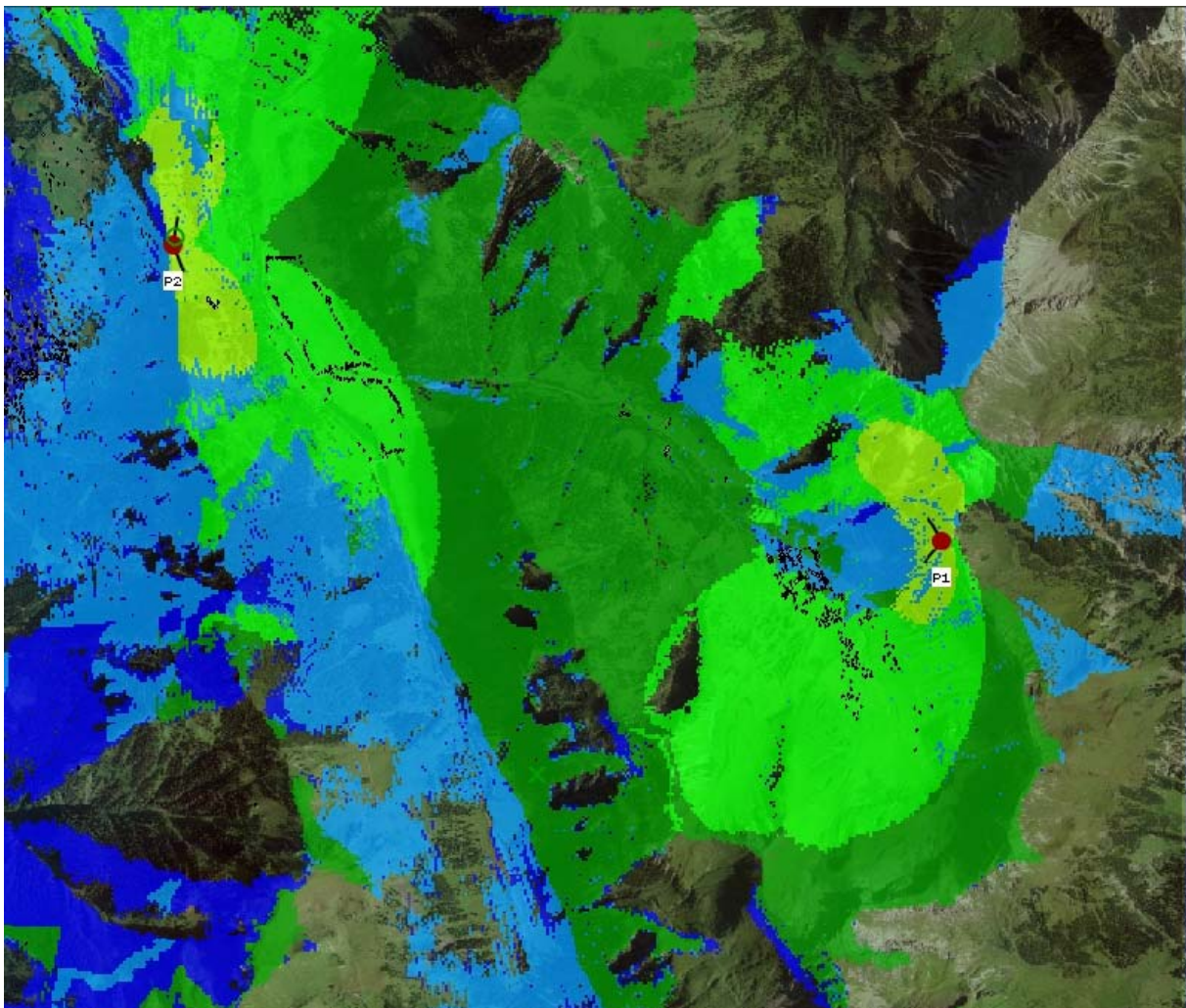


Abb. 41: Gegenwärtige Immission (mittlere Feldstärke) durch die Polizeifunksender. Der Vorgabewert von 0.02 V/m wird selbst im Mittel in weiten Bereichen überschritten (hellgrüne bis gelbe Gebiete). Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 5.8 km * 5.6 km.

6.4.7. UKW-Rundfunk

Die mittlere Feldstärke aufgrund des UKW-Funks erreicht im Bereich des Standortes P2 ein Maximum von 2,1 V/m. In bebauten Gebieten werden noch Mittelwerte von

0,12 V/m (d.h. Spitzenwert 0,37 V/m) erreicht, was erneut fast dem zwanzigfachen des zu überprüfenden Vorgabewertes von 0,02 V/m entspricht (dies jedoch in einem Bereich um 100 MHz).

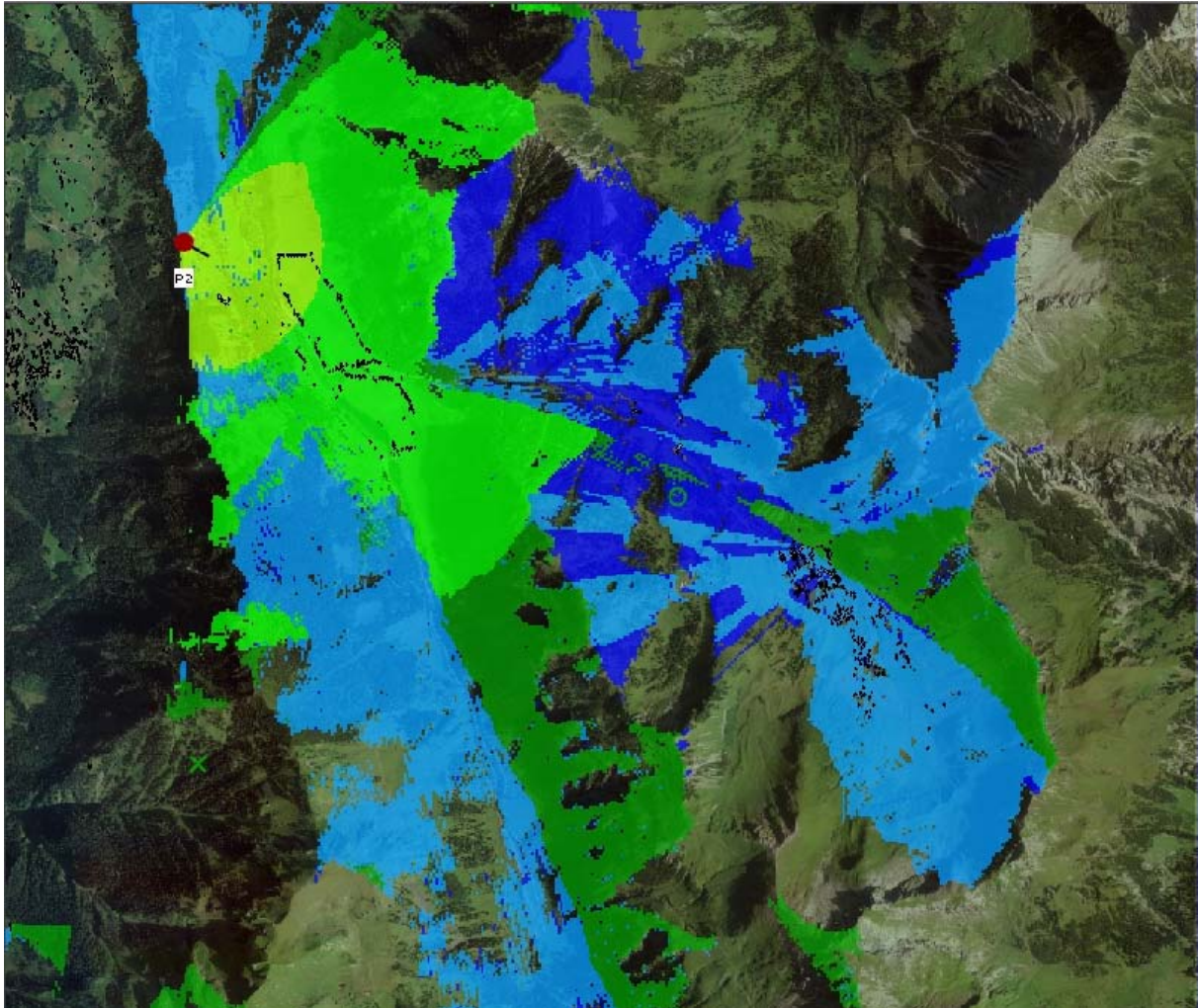


Abb. 42: Gegenwärtige Immission (mittlere Feldstärke) durch den UKW-Sender. Auch in diesem Band wird der Vorgabewert von 0.02 V/m selbst im Mittel in weiten Bereichen überschritten (hellgrüne bis gelbe Gebiete). Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 5.8 km * 5.6 km.

7) Zusammenfassende technische Bewertung

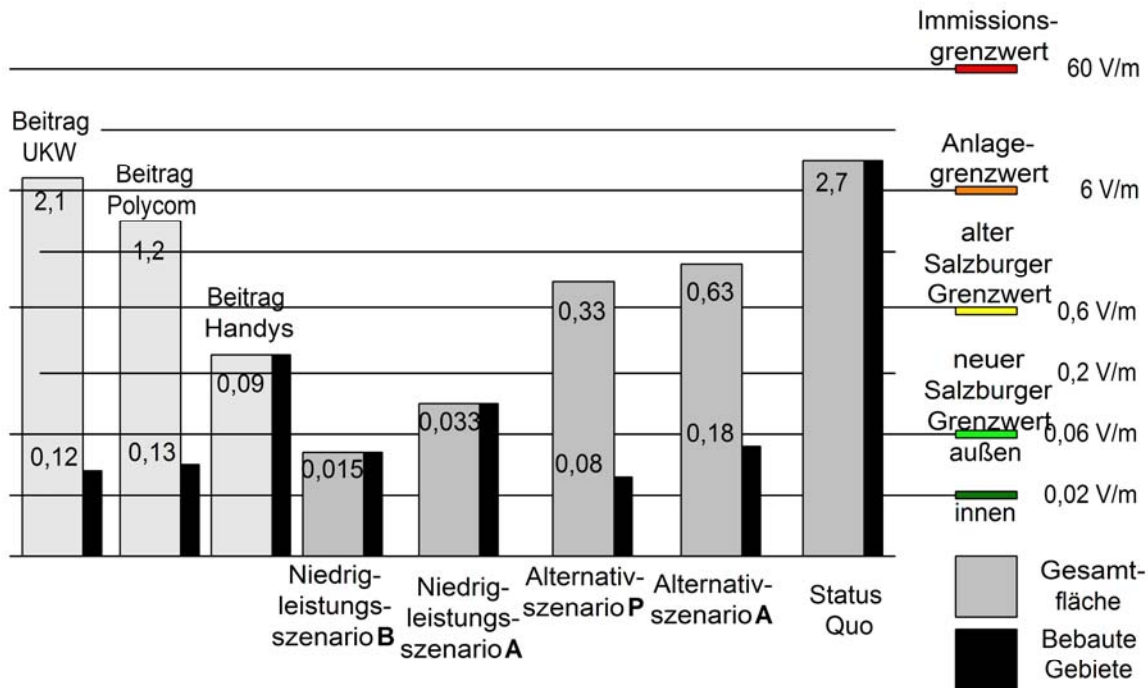


Abb.43: Schematischer Vergleich der Immissionen (mittlere Feldstärke) in den untersuchten Varianten; Die Zahl bedeutet die größte mittlere Feldstärke, die Höhe des Balkens zeigt schematisch die Größenordnung bei 95% Unterschreitungswahrscheinlichkeit, also etwa dem Dreifachen des mittleren Maximalwertes.

- Die Liechtensteiner Mobilfunknetze liegen bereits heute **fast überall** unter dem für OMEN gültigen Anlagengrenzwert von 5 V/m. Dies gilt für die in der Studie verwendete Prädiktionshöhe von 1,5m.
- Im Talgebiet Liechtensteins wird die Mobilfunkimmission weitgehend vom Ausland dominiert. Ein komplettes Abschalten aller Liechtensteiner Basisstationen würde die Immission **nur um ca. 30 %** senken.
- Ein **einseitiger nationaler Zwang** zu einer Senkung der Immissionen für Liechtensteiner Betreiber würde zum Verlust von Subscribern führen (Einbuchungsverhalten) und in der Konsequenz zum Entzug der wirtschaftlichen Grundlage.
- Es konnten Alternativszenarien aufgezeigt werden, die zu einer weiteren Absenkung der Immission führen. Die **Verwirklichung und Wirksamkeit** solcher Szenarien hängt aber von der Bereitschaft der Nachbarstaaten Schweiz und Österreich ab, ihrerseits die Immission nach Liechtenstein zu verringern. Hier ist ein Zug um Zug –Szenario denkbar.
- Es wurde aufgezeigt, dass eine Nichtüberschreitung zu 95% **oder** im Mittel als mittlere Feldstärke zu erheblichen Unterschieden (fast Faktor 3) der zulässigen Grenzfeldstärke führt. Es ist also auch zu beachten, mit welcher

Wahrscheinlichkeit ein neuer, strengerer Grenzwert nicht überschritten werden darf. Hier wurde immer mit der strengen Sicht der 95% Unterschreitungswahrscheinlichkeit gearbeitet

- Beim Erlass eines neuen Grenzwertes muss berücksichtigt werden, dass der heutige Immissionsgrenzwert überall gilt. Wenn in der Studie gezeigt werden konnte, dass in 1,5 m Höhe der strengere **Anlagengrenzwert** überall eingehalten ist, kann dieser nicht automatisch an die Stelle des **Immissionsgrenzwertes** rücken. Man bedenke nur z.B. die Immission auf dem Dach eines Antennenstandortes oder den Nachbardächern.

7.1. Alpengebiet

- Im **Alpengebiet** Steg - Malbun ist momentan kein Auslandseinfluss gegeben. Hier **könnten niedrigere Grenzwerte** als die heute gültigen erfüllt werden, falls man solche für diese Region separat erlassen möchte. Bei der Senkung ist zu beachten:
 - Ein flächendeckender Grenzwert von **0,02 V/m** im Gebiet von Steg - Malbun würde in bebauten Gebieten nicht nur zum Verlust der Indoor-Telefonie, sondern zu erheblichen Abdeckungslücken selbst im Freien führen.
 - Die **Immissionsbelastung durch die Mobilfunktelefone** selbst in Höhe von einigen Zehntel V/m ist nicht zu vernachlässigen, aus der Wechselwirkung der Pegelsteuerung des Endgerätes durch den Empfangspegel der Basisstation ergibt sich bei Betrachtung beider Seiten ein ungefähres Mindestniveau für die Feldstärke von ca. 0,4 V/m in der Fläche.
 - Mobilfunkimmissionen können nicht getrennt von anderen hochfrequenten Immissionen betrachtet werden, wie im Gebiet Steg - Malbun verdeutlicht wurde. Es ist zu bedenken, dass mobilfunkfremde Sender, wie der vorgesehene Polizeifunk (Polycom) und der Rundfunk bereits nennenswerte Immissionen (hier bis zu 2,1 V/m) verursachen und damit einen möglichen niedrigeren Gesamtgrenzwert limitieren. Alternativ könnte ein Grenzwert gültig erst ab z.B. 500 MHz erlassen werden. In diesem würden die Beiträge von UKW und Polycom nicht mehr ins Gewicht fallen. Ein solcher Grenzwert wäre aber schwer zu begründen und würde die **Mobilfunktechnik gegenüber anderen Technologien diskriminieren**.
 - Im Falle eines Grenzwertes im Alpengebiet, der die Mobilfunkversorgung nennenswert einschränkt, wäre eine Versorgung des Gebietes Steg - Malbun auch von Österreich aus attraktiv. In diesem Falle würde für den ausländischen Einfluss **nicht** ein Liechtensteiner Grenzwert, sondern die CEPT- Empfehlungen für die Störfeldstärken gelten. Damit wäre der Gestaltungsspielraum in Steg und Malbun auf das Niveau des rheintalseitigen Gebiets von Liechtenstein gesunken und die mögliche Immissionsminimierung zu Lasten der nationalen Betreiber gefährdet. Es muss also durch Konsultationen mit den österreichischen Netzbetreibern sichergestellt

werden, dass diese das Alpengebiet nicht vom nächsten Bergrücken aus versorgen und somit einen eventuell niedrigeren Grenzwert in Liechtenstein **völkerrechtlich zulässig** umgehen.

- Aufgrund der Reaktionen auf den alten „Salzburger Grenzwert“ von 0,6 V/m ist bekannt, dass die Einführung einer rechtlichen Verbindlichkeit und die Schaffung eines Präferenzfalles die sachlich und technisch beste Lösung mit einer echten Immissionssenkung in der Umsetzung gefährden kann.

7.2. Fazit

Die vorliegende, oben nochmals zusammenfassend geschilderte Situation in Liechtenstein lässt aus technischer Sicht eine Empfehlung „Neuer nationaler Grenzwert = x V/m“ nicht zu.

Wirkliches Senkungspotential besteht nur in Kooperation mit den Nachbarländern Schweiz und Österreich. Hier könnte man eine „Zug um Zug Lösung“ anstreben, die den Liechtensteiner Betreibern die Lebensgrundlage sichert. Danach sollte das erreichte Niveau bewertet und die Grenzwerte entsprechend angepasst werden. Einen Ausblick auf die Größenordnung der möglichen Senkung mit heutiger Technik gibt das skizzierte Standortkonzept, welches detaillierter auszuarbeiten wäre.

Will man im Gebiet Steg - Malbun eine Sonderlösung anstreben, müssen vernünftigerweise alle Immissionsquellen berücksichtigt werden. Das konkret vorgestellte und bewertete Standortscenario A (mit den Standorten A2 und A4, auch möglich P) 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 gesetzlichen Änderungen, zur Umsetzung empfohlen.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lage der Funkanlagen im Staatsgebiet von Liechtenstein. Das Bild umfasst ein Gebiet von 12.6 * 25.1 km	8
Abb.2: Eichversuch für den Standort Schaan-Wiesengasse, gerechnet mit Freiraumausbreitungs-koeffizienten = 2.0 (volle Kreise) und 2.5 (leere Kreise). In beiden Fällen wird nicht selten ein sehr niedriger Pegel vorhergesagt, obwohl ein klar messbares Signal vorliegt. Der umgekehrte Fall (zu hoch vorhergesagter Pegel) tritt hingegen nicht auf.	16
Abb. 3: Ausbreitungsplot für einen grenznahen Schweizer Standort. In Richtung der Hauptkeule wird noch in etwa 10-15 km ein Empfangspegel von über -70 dBm vorhergesagt, welcher Indoor-Versorgung garantiert. Die Artefakte im Westen und Norden sind durch fehlende topo-graphische Angaben bedingt.	17
Abb. 4: Grobeichung des Freiraumausbreitungskoeffizienten für das GSM 1800 Band. Volle Kreise entsprechen dem Wert 2.0 (im Mittel etwas zu hoch vorhergesagte Pegel), leere dem Wert 2.5 (im Mittel viel zu niedrig vorhergesagte Pegel)	18
Abb. 5: Feineichung des Freiraumausbreitungskoeffizienten für das GSM 1800 Band. Mit einem Freiraumausbreitungskoeffizienten von 2.11 stimmen Mess- und Vorhersagewerte im Mittel völlig überein. Durch das Aussortieren der wiederverwendeten BCCHs tritt keine systematische Abweichung nach unten mehr auf...	19
Abb. 6: Feineichung des Freiraumausbreitungskoeffizienten für das GSM 900 Band. Mit einem Freiraumausbreitungskoeffizienten von 2.20 stimmen Mess- und Vorhersagewerte im Mittel völlig überein. Durch das Aussortieren der im Ausland wiederverwendeten BCCHs und die Einschränkung des Umkreises um die Basisstationen tritt keine systematische Abweichung nach unten mehr auf.	20
Abb. 7: Farbskala für Feldstärkeverteilungen	21
Abb. 8: Farbskala für Empfangspegelverteilungen	22
Abb. 9: Gegenwärtige Verteilung der Mobilfunkimmission (mittlere Feldstärke) in Liechtenstein (In-landsbeitrag). Alle registrierten Standorte sind aktiv. Es wird angenommen, dass alle Betreiber die genehmigten Betriebsleistungen voll ausnutzen. Das Bild umfasst das gesamte Staatsgebiet Liechtensteins (12.6 km * 25.1 km). Die mittlere Feldstärke liegt zumeist im Bereich zwischen 0.061 V/m und 0.61 V/m (gelbgrüner Bereich).	25
Abb. 10: Gegenwärtige Verteilung der Mobilfunkimmission (mittlere Feldstärke) in Liechtenstein (Auslandsbeitrag). Es wird angenommen, dass alle Betreiber die genehmigten Betriebsleistungen voll ausnutzen. Gelbe Symbole kennzeichnen Schweizerische, braune Österreichische Standorte. Das Bild umfasst einen Bereich von 14.6 km * 30.1 km. Die mittlere Feldstärke liegt abermals zumeist zwischen 0.061 V/m und 0.61 V/m (gelbgrüner Bereich), d.h. der Auslandsbeitrag liegt in der gleichen Größenordnung wie der Inlandsbeitrag.	27
Abb. 11: Gegenwärtige Verteilung der Mobilfunkimmission (mittlere Feldstärke) in Liechtenstein (Summe von Inlands- und Auslandsbeitrag). Das Bild umfasst das gesamte Staatsgebiet Liechtensteins (12.6 km * 25.1 km). Die mittlere Feldstärke liegt nach wie vor meist bei 0.061 V/m bis 0.61 V/m (gelbgrüner Bereich).	29
Abb. 12: Feldstärkebeitrag des in steiler Hanglage sich befindlichen Standortes 4 (Betreiber B). Man erkennt zwei klar voneinander getrennte Gebiete hoher Immission, unmittelbar am Standort sowie am Rhein. Letzteres wird jedoch primär von Standort 3b aus versorgt. Das Bild zeigt einen Ausschnitt von 3.8 km * 6.3 km.	31
Abb. 13: Gegenwärtige Verteilung des Empfangspegels für die GSM 900 Standorte des Betreibers A. Fast in allen Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).	33
Abb. 14: Gegenwärtige Verteilung des Empfangspegels für die GSM 900 Standorte des Betreibers D. Fast in allen Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).	34
Abb. 15: Gegenwärtige Verteilung des Empfangspegels für die GSM 1800 Standorte des Betreibers B. Fast in allen Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).	36
Abb. 16: Gegenwärtige Verteilung des Empfangspegels für die GSM 1800 Standorte des Betreibers C. Fast in allen Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).	36
Abb. 17: Gegenwärtige Verteilung des Empfangspegels für ausgewählte linksrheinische Schweizer Standorte im GSM 900 Band. Fast in allen Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).	38
Abb. 18: Automatische PLMN Wahl.	41
Abb. 19: Zu erwartende Verteilung der Mobilfunkimmission (mittlere Feldstärke) für die alternativen Standorte. Es wird angenommen, dass die veranschlagten Betriebsleistungen voll ausgenutzt und alle Standorte von allen Betreibern in allen Frequenzbändern verwendet werden. Es ist zumeist eine Feldstärke von 0.061 V/m bis 0.61 V/m zu erwarten (gelbgrüner Bereich).	46
Abb. 20: Zu erwartende Verteilung des Empfangspegels für die alternativen Standorte im GSM 900 Band. Fast in allen Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).	48

Abb. 21: Gegenwärtige Verteilung der mittleren Feldstärke (50 % Überschreitungswahrscheinlichkeit) im Gebiet von Malbun. Das Bild umfasst wie alle nachfolgenden einen Ausschnitt von 6.8 km * 6.1 km. Es treten im Mittel keine Überschreitungen des Anlagengrenzwertes auf.	51
Abb. 22: Gegenwärtige Verteilung der mit 5% Wahrscheinlichkeit überschrittenen Feldstärke in Malbun. In unmittelbarer Umgebung des Standortes I8 kann der Anlagengrenzwert von 5 V/m geringfügig überschritten werden (nur OKA betroffen).....	52
Abb. 23: Gegenwärtige Verteilung des Empfangspegels im GSM 900 Band durch einen Betreiber. In Wohn- und fast auch allen Skigebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).....	53
Abb. 24: Gegenwärtige Verteilung des Empfangspegels im GSM 1800 Band durch einen Betreiber. In Wohn- und fast auch allen Skigebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).....	54
Abb. 25: Zu erwartende Verteilung der mittleren Feldstärke für das alternative Szenario A in Steg - Malbun (50 % Überschreitungswahrscheinlichkeit). Es wird angenommen, dass die veranschlagten Betriebsleistungen voll ausgenutzt und alle Standorte von allen Betreibern verwendet werden. Der Anlagengrenzwert wird weitem nicht erreicht.	56
Abb. 26: Zu erwartende Verteilung der mit 5% Wahrscheinlichkeit überschrittenen Feldstärke für das Szenario A in Malbun. Auch unter Anlegung dieses strengen Kriteriums wird der Anlagengrenzwert keinesfalls überschritten.	57
Abb. 27: Zu erwartende Verteilung der mittleren Feldstärke für das alternative Szenario P in Steg - Malbun (50 % Überschreitungswahrscheinlichkeit). Es wird angenommen, dass die veranschlagten Betriebsleistungen voll ausgenutzt und alle Standorte von allen Betreibern verwendet werden. Der Anlagengrenzwert wird bei weitem nicht erreicht.....	58
Abb. 28: Zu erwartende Verteilung der mit 5% Wahrscheinlichkeit überschrittenen Feldstärke für das Szenario P in Steg - Malbun. Auch unter Anlegung dieses strengen Kriteriums wird der Anlagengrenzwert keinesfalls überschritten.	59
Abb. 29: Zu erwartende Verteilung des Empfangspegels in Steg - Malbun für die alternativen Standorte A2 und A4 im GSM 900 Band. In Wohn- und fast auch allen Skigebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche).....	60
Abb. 30: Zu erwartende Verteilung des Empfangspegels in Steg - Malbun für den alternativen Standort A1 im GSM 900 Band. In Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche), in Skigebieten z.T. nur im Freien (hellblaue Gebiete), was jedoch ausreicht.....	61
Abb. 31: Zu erwartende Verteilung des Empfangspegels in Steg - Malbun für die alternativen Standorte P2 und P3 im GSM 900 Band. In Wohngebieten ist auch innerhalb von Gebäuden ein stabiler Empfang möglich (dunkelgrüne bis gelbe Bereiche), in Skigebieten z.T. nur im Freien (hellblaue Gebiete), was jedoch ausreicht... ..	62
Abb. 32: Farbskala für Feldstärkeverteilungen.....	64
Abb. 33: Farbskala für Empfangspegelverteilungen.....	65
Abb. 34: Verteilung der mit 95% Wahrscheinlichkeit eingehaltenen Feldstärke für das Niedrig-Leistungsszenario A. Trotz der extrem geringen Ausgangsleistung der Basisstationen (1 mW pro Kanal) wird der Vorgabewert von 0.02 V/m punktuell überschritten (roter Bereich). Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 5.8 km * 5.6 km.	68
Abb. 35: Verteilung des Empfangspegels für das Niedrigleistungsszenario A im GSM 900 Band. Die Bereiche mit ausreichendem Empfangspegel indoor (grün) sind mit denjenigen zu hoher Feldstärke fast deckungsgleich. Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 5.8 km * 5.6 km.....	69
Abb. 36: Verteilung der mit 95% Wahrscheinlichkeit eingehaltenen Feldstärke für das Niedrigleistungsszenario B. Trotz der extrem geringen Ausgangsleistung der Basisstationen (1 mW pro Kanal) wird der Vorgabewert von 0.02 V/m erneut überschritten (roter Bereich). Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 1.6 km * 1.9 km.....	71
Abb. 37: Verteilung des Empfangspegels für das Niedrigleistungsszenario B im GSM 900 Band. Wieder sind die Bereiche mit ausreichendem Empfangspegel (grün) mit denjenigen zu hoher Feldstärke fast deckungsgleich. Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 1.6 km * 1.9 km.....	72
Abb. 38: Verteilung der mit 95% Wahrscheinlichkeit eingehaltenen Feldstärke für ein Mobiltelefon-szenario. Der Vorgabewert von 0.02 V/m wird trotz der relativ niedrigen Ausgangsleistungen (0.1 W) fast im gesamten Wohngebiet überschritten (roter Bereich). Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 1.6 km * 1.9 km.	74
Abb. 39: Verteilung des Empfangspegels, mit dem ein als isotroper Strahler (Leistung 0.1 W) modelliertes Mobiltelefon registriert wird. An Standort P3 liegt der Pegel schon nahe der Grenze, unterhalb derer das Handy zur Erhöhung der Sendeleistung aufgefordert wird (hell- und dunkelblauer Bereich). Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 1.6 km * 1.9 km.	75
Abb. 40: Farbskala für die Feldstärkeverteilung.....	78
Abb. 41: Gegenwärtige Immission (mittlere Feldstärke) durch die Polizeifunksender. Der Vorgabewert von 0.02 V/m wird selbst im Mittel in weiten Bereichen überschritten (hellgrüne bis gelbe Gebiete). Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 5.8 km * 5.6 km.	79
Abb. 42: Gegenwärtige Immission (mittlere Feldstärke) durch den UKW-Sender. Auch in diesem Band wird der Vorgabewert von 0.02 V/m selbst im Mittel in weiten Bereichen überschritten (hellgrüne bis gelbe Gebiete). Das Bild umfasst einen Ausschnitt von 5.8 km * 5.6 km.....	80

Kurzglossar

Abb.	Abbildung
BCCH	Broadcast Control Channel
dB	Decibel (Maßeinheit)
dBm	Decibel Milliwatt (0dBm =1mW)
E [V/m]	Feldstärke
ERP	Effective isotropic Radiated Power
EU	Europäische Union
f [MHz]	Frequenz
GSM	Global System for mobile Communication, früher Groupe Speciale Mobile
Home- PLMN	Heimatmobilfunknetz
ICNIRP	International Commission on Non-Ionising Radiation Protection
km	Kilometer
LI	(Fürstentum) Liechtenstein
Log	Zehnerlogarithmus
MCC	Mobile Country Code
MNC	Mobile Network Code
mW/m ²	Milliwatt pro Quadratmeter
NIS	Nicht ionisierende Strahlung
OKA	Orte mit kurzfristigem Aufenthalt
OMEN	Orte mit empfindlicher Nutzung
P [dBm]	Empfangspegel
PLMN	Public Land Mobile Telecommunication System
Polycom	Polizeifunk
UKW	Ultra Kurzwelle
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
V/m	Volt pro Meter
W/m ²	Watt pro Quadratmeter