



08. Februar 2021

Testkonzession und Messungen adaptive Antennen (GS-UVEK-325.1-9/2/1)

Bericht-Nachtrag

Zusammenfassung

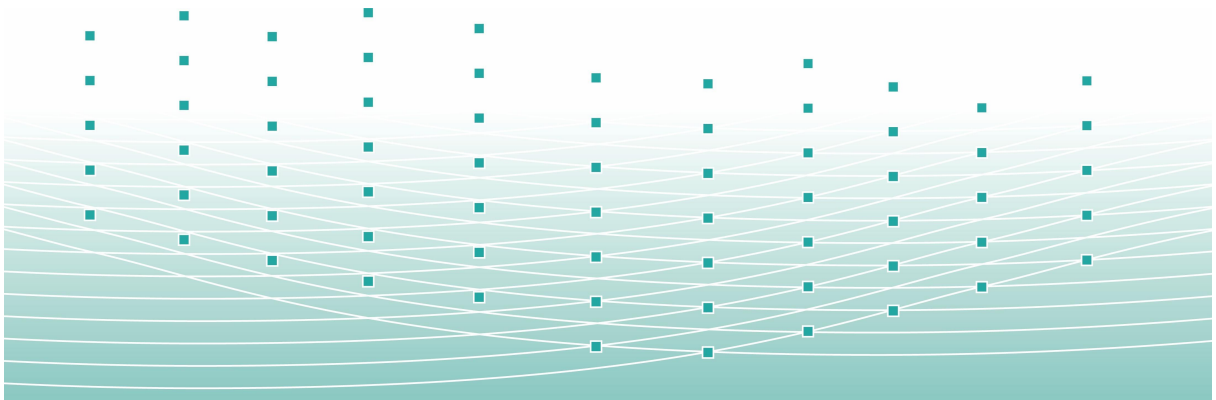
Die heute angewendete Beurteilungsmethode betrachtet den Spitzenwert der Feldstärke, wie es bei der Exposition mit dem 2G-Mobilfunk (GSM) und seinen starren Senderichtungen angebracht war. Mit dem 5G-Mobilfunk liegt nun eine Aussendung vor, die dank der grossen Bandbreite und der gezielten Senderichtung aus sehr kurzen Datenpaketen besteht, auf welche anschliessend lange Sendepausen folgen. Die Charakteristik der Exposition durch diese neue Funktechnologie soll dargestellt werden.

Das Mandat wurde im März 2020 freigegeben und mit der Zusammenstellung der technischen Grundlagen zur adaptiven Antennentechnik begonnen. Zur Vorbereitung der Messungen vor Ort wurde ein Messprogramm definiert und die notwendigen Messgeräte zusammengetragen.

Die Messungen wurden im Juni 2020 an zwei Basisstationen (dokumentiert im Bericht Testkonzession und Messungen adaptive Antennen (GS-UVEK-325.1-9/2/1) vom 24. September 2020) durchgeführt und im November 2020 mit Nachmessungen (in diesem Bericht-Nachtrag dokumentiert) ergänzt. Zur Validierung der Messungen wurden Simulationen (dokumentiert im Bericht vom 24. September 2020) durchgeführt und zusätzlich weitere Anwendungsfälle betrachtet, deren Realisierung mittels eines Messaufbaus zu aufwändig gewesen wäre.

Alle ausgeführten Messungen und Simulationen zusammen zeigen, dass die Exposition um die adaptiven Antennen geringer und ausgeglichener ist als um die herkömmlichen Sektorantennen. Die adaptiven Antennen senden die Nutzdaten gezielt zum Endgerät, womit die Übertragungseffizienz zunimmt und damit die Übertragungsdauer verringert wird. Gleichzeitig nimmt die Exposition direkt vor der Antenne ab, da nur noch Nutzdaten in diese Richtung gesendet werden.

Die Messungen bestätigen ebenfalls die Arbeitsweise der Power-Lock-Funktion als dynamische Regelung auf eine mittlere Sendeleistung.



Inhalt

1	Ausgangslage Mandat.....	2
2	Messung der Exposition durch adaptive Antennen.....	4
2.1	Messorte und Messdaten der BAKOM-Messungen	4
2.1.1	Standort KONI	4
2.1.2	Standort ZH654-2.....	6
2.2	Durchgeführte Messungen.....	8
2.3	Messungen KONI.....	9
2.3.1	Messung der Power-Lock-Funktion	9
2.4	Messungen ZH654-2.....	11
2.4.1	Messung der Feldstärke.....	11
2.4.2	Messung des Spektrums.....	14
2.4.3	Messung der Power-Lock-Funktion	16
3	Analyse.....	17
3.1	Folgerungen der Nachmessungen.....	17
3.2	Folgerungen aller durchgeführten Messungen im Rahmen dieses Mandats	17

1 Ausgangslage Mandat

Auf den 1. Februar 2000 wurde die Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) in Kraft gesetzt. Sie regelt die Begrenzung der Emissionen im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz. Zum damaligen Zeitpunkt waren für den Mobilfunk die zwei Frequenzbänder 900 MHz und 1'800 MHz im Einsatz. Mit den darauffolgenden Mess- und Vollzugsempfehlungen wurde der Vollzug des Mobilfunks mit der damaligen GSM-Technologie (2G) und ihren Sektorantennen (gegebenes festes Antennendiagramm für den Sektor) ermöglicht. Seither wurden die weiterentwickelten Mobilfunktechnologien UMTS (3G), LTE (4G) und 5G eingeführt und ebenfalls kamen die Frequenzbänder 700 MHz, 800 MHz, 1'400 MHz, 2'100 MHz, 2'600 MHz sowie 3'500 – 3'800 MHz neu dazu.

Im Jahre 2019 begannen die Schweizer Mobilfunkbetreiber ihre Basisstationen mit den neuen adaptiven Antennen mit dynamischen Abstrahleigenschaften (einer der grossen Vorteile der Weiterentwicklung des Mobilfunks) auszurüsten. Im gleichen Jahr wurde in der NISV für adaptive Antennen der massgebende Betriebszustand unter Berücksichtigung der Variabilität von deren Senderichtungen und Antennendiagramme festgelegt. Die «Mobilfunk- und WLL-Basisstationen Vollzugsempfehlung zur NISV» aus dem Jahre 2002 wurde laufend der Mobilfunktechnologie angepasst und mit Nachträgen ergänzt. Zurzeit ist eine detaillierte Vollzugshilfe zur Beurteilung der adaptiven Antennen gemäss NISV noch ausstehend. Bis zur Publikation dieser detaillierten Vollzugshilfe hat das BAFU den Kantonen empfohlen, adaptive Antennen wie konventionelle Antennen zu beurteilen (Schreiben vom 14. April 2019 und 31. Januar 2020).

Das BAFU ist für die NISV und die Vollzugsempfehlungen zuständig. Innerhalb des Bundes wirken Experten von METAS und BAKOM aktiv an der Entwicklung von Methoden zur Berechnung und Messung der Exposition von Mobilfunkstationen mit. Das METAS hat im Auftrag des BAFU einen technischen Bericht mit dem Titel "Messverfahren für 5G-Basisstationen bis 6GHz" verfasst, der am 18.02.2020 veröffentlicht wurde.

In einer vom BAFU geleiteten Begleitgruppe zur Erarbeitung einer Vollzugshilfe für adaptive Antennen werden gegenwärtig einige theoretische, auf Statistik basierende Vorschläge diskutiert. Messungen des realen Betriebs einer im 3'500 – 3'800 MHz Frequenzband betriebenen adaptiven Antenne in der

Schweiz bestehen noch nicht, würden jedoch wichtige Grundlagen zur Bewertung der Exposition liefern.

Dieses Mandat erfordert vertiefte Kenntnisse der Netztechnologie und des Netzbetriebs und fällt daher in den Kompetenzbereich der BAKOM-Experten.

Der begonnene Einsatz der 5G-Mobilfunktechnologie wird den Betrieb neuer Technologien, insbesondere den Einsatz adaptiver Antennen, ermöglichen. Während die heute verwendeten Antennen eine bestimmte und stabile Strahlung in alle Richtungen haben, ermöglichen adaptive Antennen, die Strahlung bezüglich den aktiven Benutzern auszurichten. Ein Beobachter, der sich z.B. an einem Ort mit empfindlicher Nutzung (OMEN) befindet, wird somit von der Strahlung mit zeitveränderlicher Abstrahlcharakteristik exponiert. Wenn der Strahl nicht in seine Richtung gelenkt wird, ist die Exposition gering, wenn er in seine Richtung gelenkt wird, ist sie höher. Das vorliegende Mandat sollte es ermöglichen, diese Exposition zu definieren.

Die aktuellen Vollzugsempfehlungen zur NISV sind für konventionelle Sektorantennen ausgelegt und für die Bewertung von adaptiven Antennen nicht geeignet. Für die Betreiber ist jedoch die volle Nutzung der Eigenschaften der adaptiven Antennen eine Voraussetzung für den zweckvollen Einsatz von 5G im 3,5 GHz-Band.

Ziel dieses Mandats ist es, eine Bewertung der Exposition durch adaptive Antennen aufzuzeigen, die mit den Bestimmungen der NISV im Einklang steht, die technologisch neutral ist und die Vorteile adaptiver Antennen vollumfänglich berücksichtigt. Um das Ziel zu erreichen, wird das Expertenteam seine Antwort auf eine Analyse der Betriebsarten adaptiver Antennen sowie auf eine Analyse der Exposition mit Computersimulationen und Feldmessungen stützen.

Der vorliegende Bericht des BAKOM enthält konkrete Vorschläge für eine Expositionsabschätzung und wird der vom BAFU geleiteten Arbeitsgruppe, die für die Überarbeitung der Umsetzungsempfehlungen des NISV zuständig ist, vorgelegt.

2 Messung der Exposition durch adaptive Antennen

2.1 Messorte und Messdaten der BAKOM-Messungen

Die Nachmessungen wurden bei den bereits vorgängig ausgewählten Basisstationen durchgeführt:

- die Basisstation KONI in Liebefeld (Swisscom) auf dem Campus von BAG, BLW, BLV und Agroscope, Messungen am 23.11.2020;
- und die Basisstation ZH654-2 in Reinach AG (Sunrise) bei einem Fussballplatz, Messungen am 17.11.2020.

Beide Stationen haben in der Senderichtung ein gut zugängliches und freies Gelände mit direkter Sichtverbindung zur Antenne. Bei diesen zwei Standorten können die adaptiven Antennen mit der ortsichtlich erteilten Bewilligung betrieben werden.

2.1.1 Standort KONI

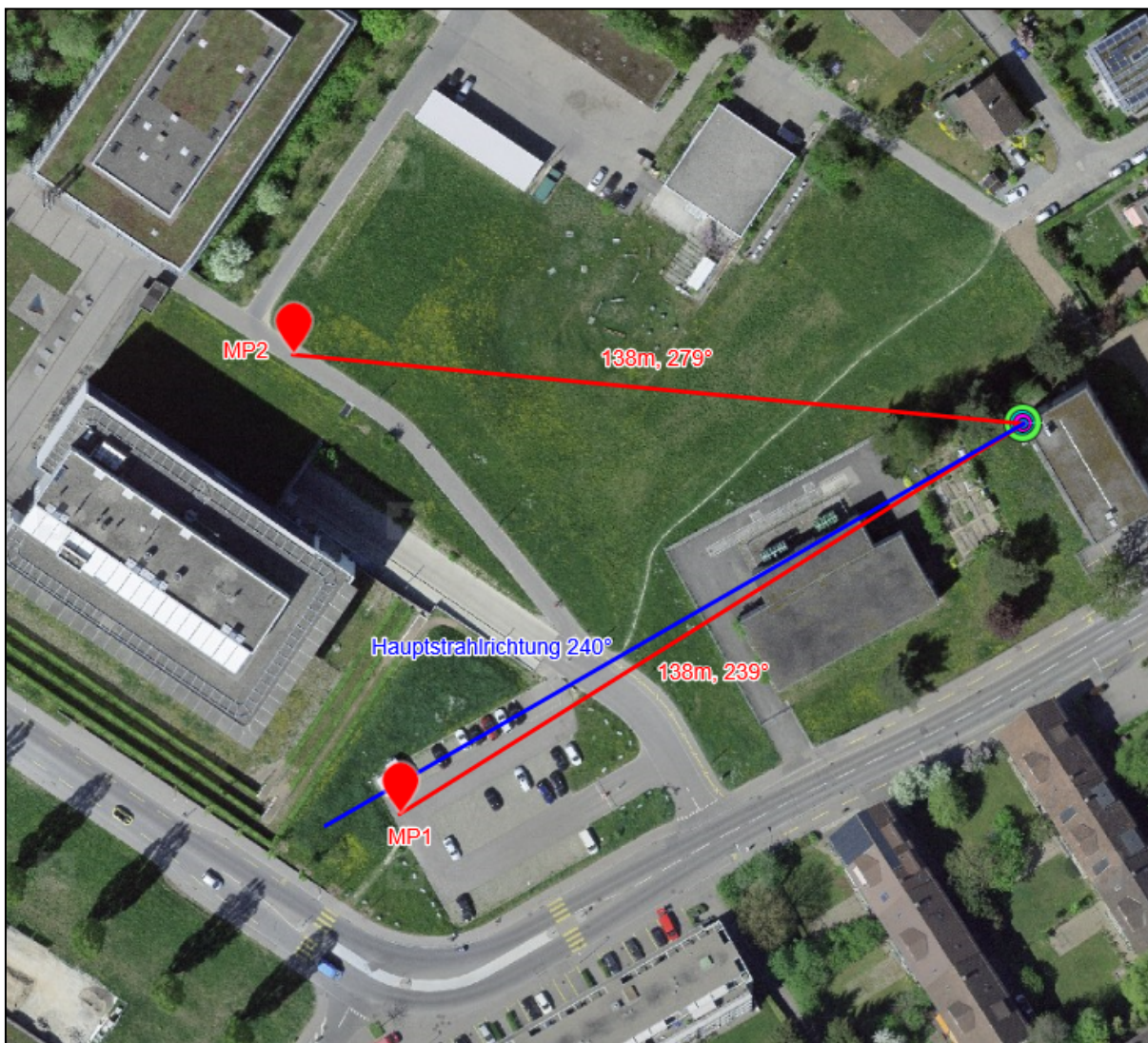


Photo 1: Satellitenbild des Standortes

Antenne Basisstation: 2°59'8"961, 1°19'7"602, 565.65 m ü.M. + 25.6 m (gemäss Betriebsdaten), bewilligte Sendeleistung ERP = 800 W.

MP1: 239° SW, 138m Entfernung (gemessen zum Antennenmodul), 565.65 m ü.M. + 1.5m Höhe der Messantenne

MP2: 279° W, 138m Entfernung (gemessen zum Antennenmodul), 565.65 m ü.M. + 1.5m Höhe der Messantenne



Photo 2: Setup Messpunkt 1

2.1.2 Standort ZH654-2

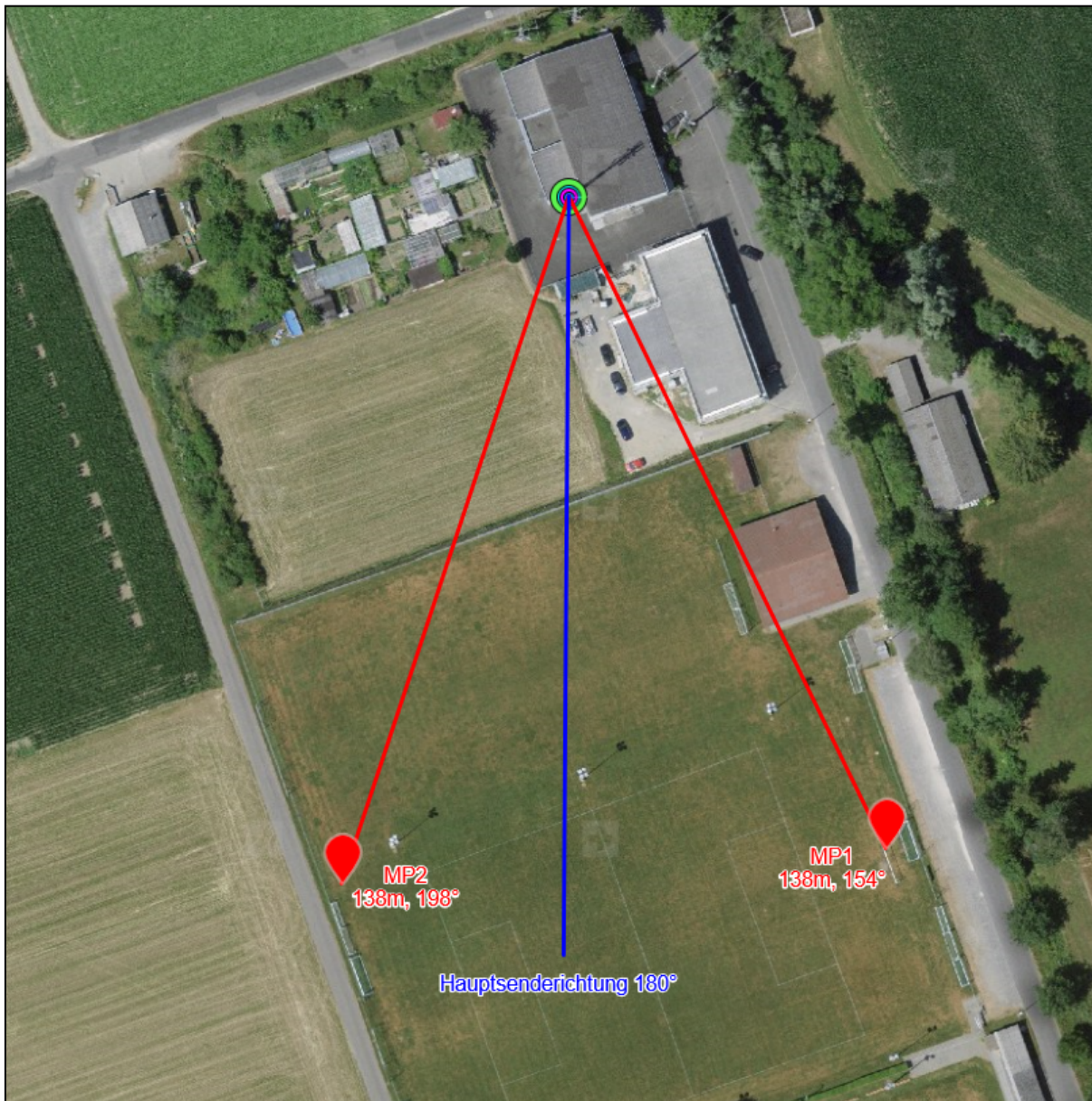


Photo 3: Satellitenbild des Standortes

Antenne Basisstation: 2'655'418, 1'234'634, 516 m ü.M. + 21.7 m (gemäss Betriebsdaten), bewilligte Sendeleistung ERP = 500 W.

MP1: 138° SO, 138m Entfernung (gemessen zum Antennenmodul), 516 m ü.M. + 1.5m Höhe der Messantenne

MP2: 198° SW, 138m Entfernung (gemessen zum Antennenmodul), 516 m ü.M. + 1.5m Höhe der Messantenne



Photo 4: Setup Messpunkt 1



Photo 5: Messpunkt 2

2.2 Durchgeführte Messungen

Zur Veranschaulichung des Verhaltens der adaptiven Antennen wird die Feldstärke an gewählten Messpunkten betrachtet. Es werden jeweils zwei Messpunkte ausgewählt die in gleichem Abstand zur Basisstation liegen und 40° Winkelunterschied haben. Die Messpunkte sind gut zugänglich und sollen möglichst wenig Reflexionen ausgesetzt sein.

Die Feldstärke wird mit einer Breitbandmessung (Messgerät SRM3006) sowie einer Spektrumsmessung (Messgerät Gauss TDEMI X6) aufgezeichnet. Zwei Endgeräte werden so in der Funkzelle betrieben, bewegt und positioniert, dass die Basisstation entweder keinen, einen oder zwei Datenströme aussendet. Die Endgeräte sind so konfiguriert, dass sie dauernd Daten herunterladen und dabei von der Basisstation mit einer möglichst grossen Datenrate versorgt werden. Die Messungen werden aus Gründen der praktischen Durchführung auf zwei Endgeräte und damit auf zwei Datenströme beschränkt.

2.3 Messungen KONI

2.3.1 Messung der Power-Lock-Funktion

Erzeugte Traffic-Beams

Traffic-Beams: Mit den Smartphones (UE) werden mittels einer Test-SW grösst mögliche Downloads (DL) ausgeführt. Dabei entsteht ein Traffic-Beam zu diesem UE, welcher die maximalen Kanalressourcen und die aktuellen Empfangsbedingungen so gut wie möglich ausschöpfen. Die Basisstation stellt dabei den effizientesten Traffic-Beam ein.

Die Power-Lock-Funktion gewährleistet, dass eine bestimmte Sendeleistung (z. B. die bewilligte Sendeleistung) im 6-Minutenmittel nicht überschritten wird. Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der Feldstärkemessung über die Zeit.

Bemerkungen: Da es sich um einen realen Betrieb handelt, optimiert die Basisstation kontinuierlich die aktiven Traffic-Beams. Beim Verschieben der UE's reagiert die Basisstation auf die aktuellen Funkbedingungen (Reflexionen und Abschattungen). Die Smartphones werden daher möglichst bewegungslos in der gleichen Position beim MP1 gehalten.

Messort: MP1

Power-Lock Zykluszeit: 6min.

Einstellungen: Leistungsreduktion: 15dB (Unterschied zw. ERP_{HIGH} und ERP_{LOW})

SRM3006 $f_{cent} = 3.65$ GHz

Einstellungen: BW = 32 MHz

Bemerkungen: Messbereich oberhalb SSB.

Datendownload P_{HIGH} : UE1 = 750 MBit/s und UE2 = 800 MBit/s.

Datendownload P_{LOW} : UE1 = 250 MBit/s und UE2 = 300 MBit/s.

Gemessen wird die Feldstärke, welche aus der aktuellen Sendeleistung resultiert.

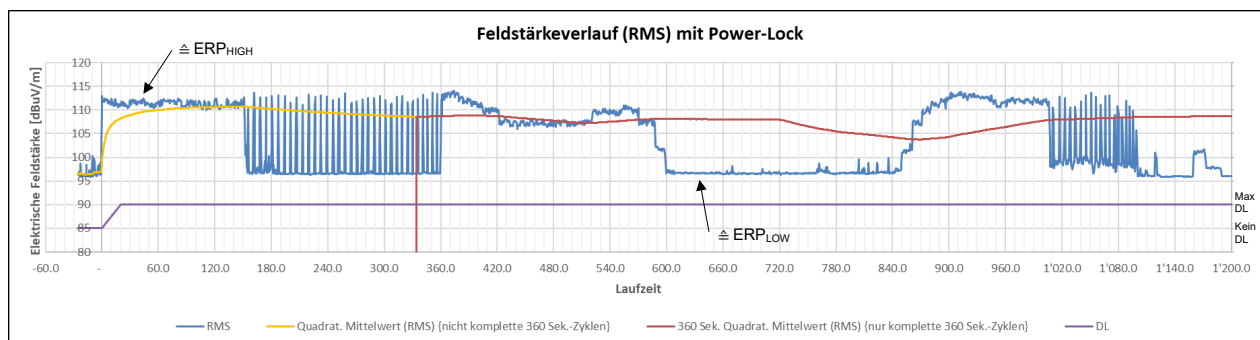


Abbildung 1: MP1, konstanter Download, Power-Lock-Funktion: 360s-Mittelwert

Bei dieser Messung wurde über mehr als drei Zyklen à 360 Sekunden gemessen (siehe Abbildung oben). Die blaue Kurve (3 Werte pro Sekunde) ist die gemessene Feldstärke und die rote Kurve ist der berechnete quadratische Mittelwert gebildet aus den Messwerten der vorangegangenen 360 Sekunden. Die violette Kurve zeigt auf, wann ein maximaler Download eingeschaltet war und wann nicht. Die gelbe Kurve zeigt den berechneten quadratischen Mittelwert vor dem ersten vollständig durchlaufenen Zyklus und kann daher vernachlässigt werden.

Die Power-Lock-Zyklen sind ersichtlich. Der erste Power-Lock-Zyklus beginnt bei 0s wo mit maximaler Sendeleistung ERP_{HIGH} gesendet wird. Bei 150s reduziert die Power-Lock-Funktion die Sendeleistung auf ERP_{LOW} , wobei in der Folge kammartige Peaks sichtbar sind, welche durch den Regelalgorithmus entstehen. Die Sendeleistung wird immer durch die Power-Lock-Funktion überwacht und der quadratische Mittelwert der gemessenen Feldstärke steigt nicht über ~ 108 dB μ V/m.

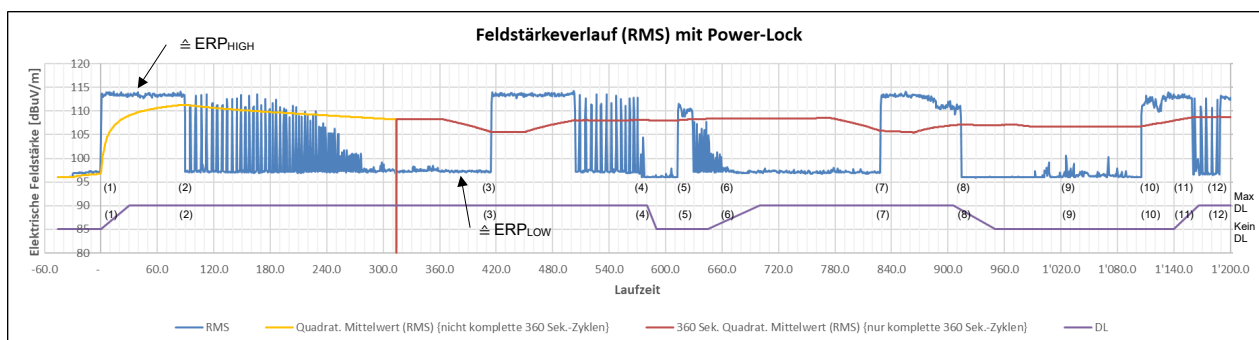


Abbildung 2: MP1, intermittierender Download, Power-Lock-Funktion: 360s-Mittelwert

Bei (1) wird der Download (DL) eingeschaltet und die Datenübertragung erfolgt mit maximaler Sendeleistung ERP_{HIGH} , dies ergibt eine gemessene Feldstärke von $\sim 114 \text{ dB}\mu\text{V/m}$. Bei (2) reduziert die Power-Lock-Funktion die Sendeleistung auf ERP_{LOW} , was eine Feldstärke von $\sim 97 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ ergibt. Die folgenden kammartigen Peaks sind bedingt durch den Regelalgorithmus welcher den Mittelwert nach 360s auf $\sim 108 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ senkt. In der Folge sinkt der Mittelwert ab und die Sendeleistung geht bei (3) wieder auf den Maximalwert. Anschliessend regelt die Power-Lock-Funktion die Sendeleistung, bis bei (4) der DL angehalten wird und die Feldstärke auf $\sim 96 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ sinkt. Bei (5) werden durch den Testaufbau keine Daten abgerufen, die ersichtlichen Funksignale sind Daten zum Endgerät eines Kunden ausserhalb des Testaufbaus. Bei (6) wird der DL wieder eingeschaltet und die Sendeleistung erhöht sich bei (7) wieder. Mit dem Anhalten des DL bei (8) fällt auch die Sendeleistung ab. (9) und (10) sind wiederum Kundendaten. Erst bei (11) wird der DL wieder eingeschaltet und die Power-Lock-Funktion regelt die Sendeleistung und schaltet diese bei (12) wieder auf den maximalen Wert.

Die Power-Lock-Zyklen sind bei beiden Messungen ersichtlich. Die Sendeleistung wird durch die Power-Lock-Funktion geregelt und der berechnete quadratische Mittelwert (rote Linie) steigt nie über $\sim 108 \text{ dB}\mu\text{V/m}$.

Berechnung Mittelwert

Der 360s-Mittelwert berechnet sich folgendermassen aus den Messwerten:

$$E_M = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n 10^{0.1 \cdot E_i} \right]$$

Dabei sind:

E_M = Quadratischer Mittelwert in [dB]

n = Anzahl Messwerte im 360s-Intervall

E_i = Messwert in [dB]

2.4 Messungen ZH654-2

2.4.1 Messung der Feldstärke

Die folgenden Tabellen zeigen die Messwerte in der Übersicht. Die Berechnung der Umrechnungswerte erfolgt gemäss Formeln unter «Umrechnungen» unterhalb der beiden Tabellen:

Betriebs-modus	BB = 32MHz				Umrechnung MP1			
	Messfile	Messzeit	Peak [dBuV/m]	RMS [dBuV/m]	RMS [V/m] BB=32MHz	Pband [W] BB=32MHz	RMS [V/m] BB=100MHz	ERP1 [W] @138m
1) Kein Traffic-Beam: nur Signalisation, kein UE aktiv.	003	11:44	115.33	95.82	0.062	10.13E-06	0.109	4.6
2) Single-Beam: ein Traffic-Beam auf MP1, beide UE befinden sich beim MP1.	004	11:46	119.04	113.87	0.494	646.63E-06	0.873	294.9
3) Single-Beam: ein Traffic-Beam auf MP2, beide UE befinden sich beim MP2.	005	11:54	113.67	96.78	0.069	12.64E-06	0.122	5.8
4) Dual-Beam: ein Traffic-Beam auf MP1 und ein Traffic-Beam auf MP2, dabei befindet sich das eine UE beim MP1 und das andere UE beim MP2.	010	12:20	118.27	110.45	0.333	294.21E-06	0.589	134.2

Tabelle 1: Messwerte und Umrechnungen Messpunkt 1

Betriebs-modus	BB = 32MHz				Umrechnung MP2				ERP tot [W] @138m
	Messfile:	Messzeit	Peak [dBuV/m]	RMS [dBuV/m]	RMS [V/m] BB=32MHz	Pband [W] BB=32MHz	RMS [V/m] BB=100MHz	ERP2 [W] @138m	
1) Kein Traffic-Beam: nur Signalisation, kein UE aktiv.	008	12:08	109.53	89.05	0.028	2.13E-06	0.050	1.0	5.6
2) Single-Beam: ein Traffic-Beam auf MP1, beide UE befinden sich beim MP1.	007	12:06	109.45	94.46	0.053	7.41E-06	0.093	3.4	298.3
3) Single-Beam: ein Traffic-Beam auf MP2, beide UE befinden sich beim MP2.	006	12:01	118.29	112.87	0.440	513.64E-06	0.778	234.2	240.0
4) Dual-Beam: ein Traffic-Beam auf MP1 und ein Traffic-Beam auf MP2, dabei befindet sich das eine UE beim MP1 und das andere UE beim MP2.	009*	12:11	119	110	0.316	265.25E-06	0.559	121.0	255.1

* Eingesetzt sind die maximalen Werte der variierenden Anzeige. Auf dem Messplot sind die minimalen Werte ersichtlich

Tabelle 2: Messwerte und Umrechnungen Messpunkt 2

Umrechnungen

Gemessene Feldstärke in V/m:

Feldstärke für 100MHz Bandbreite:

$$RMS \left[\frac{V}{m} \right] = 10^{-6} \cdot 10^{\frac{RMS[dBuV/m]}{20}}$$

$$RMS_{100MHz} \left[\frac{V}{m} \right] = \sqrt{\frac{P_{32MHz} \cdot 100MHz}{32 MHz} \cdot 377\Omega} \quad \text{mit} \quad P_{32MHz} = \frac{RMS_{32MHz}^2}{377\Omega}$$

Rückrechnung auf die Sendeleistung aufgrund der gemessenen Feldstärke. Wobei ERP₁ der Leistungsanteil Richtung MP1 und ERP₂ der Leistungsanteil Richtung MP2 ist:

$$ERP = \frac{(138m \cdot RMS_{100MHz})^2}{49.2}$$

$$ERP_{tot} = ERP_1 + ERP_2$$

Kontrolle der Feldstärke aufgrund der rückberechneten Sendeleistung:

$$E [V/m] = \frac{\sqrt{49.2 \cdot P_{ERP} [W]}}{d [m]}$$

Messort	Abstand d [m]	Berechnungsfaktor	Sendeleistung ERP [W]	E _{berechnet} [V/m]	E _{gemessen} [V/m]	Sendeleistung ERP [W]
MP1	138	49.2	489.78	1.125	0.873	294.9
MP2	138	49.2	489.78	1.125	0.778	234.2

Tabelle 3: Vergleich zwischen gemessener und berechneter Feldstärke

Ergebnisse

- Ohne Traffic wird an beiden Messpunkten eine Exposition von 0.109 V/m resp. 0.050 V/m gemessen, dies entspricht einer rückberechneten Sendeleistung ERP von 4.6 W resp. 1.0 W.
- Im Single-Beam wird eine Exposition von 0.873 V/m resp. 0.778 V/m gemessen, dies entspricht einer Sendeleistung ERP von 294.9 W resp. 234.2 W.
- Ausserhalb des Single-Beam wird eine Exposition von 0.122 V/m resp. 0.093 V/m gemessen, dies entspricht einer Sendeleistung ERP von 5.8 W resp. 3.4 W.
- Im Dual-Beam wird eine Exposition von 0.589 V/m resp. 0.559 V/m gemessen, dies entspricht einer Sendeleistung ERP von 134.2 W resp. 121.0 W.

Folgerungen

- Wird nur ein Beam gesendet, ergibt dies aufgrund der gemessenen Feldstärke im Abstand von 138m eine Sendeleistung ERP von 234.2 W resp. 294.9 W.
- Ausserhalb des Beams wird das Signal zw. ~17dB – 18dB reduziert gemessen. Die Differenz zwischen der gemessenen Feldstärke «im Beam» und der Feldstärke «nicht im Beam» ist am Messpunkt 1 17.09dB (113.87 – 96.78 dBµV/m) und am Messpunkt 2 18.41dB (112.87 – 94.46 dBµV/m);
- Die Exposition durch die Signalisation liegt zw. ~18dB – 23dB unterhalb der Exposition im Single-Beam. Die Differenz zwischen der gemessenen Feldstärke im Beam und der Feldstärke nur mit der Signalisation beträgt am Messpunkt 1 18.05dB (113.87 – 95.82 dBµV/m) und am Messpunkt 2 23.82dB (112.87 – 89.05 dBµV/m).

Bemerkung:

Die Exposition am Messpunkt 1 liegt im Beam mit 0.87V/m deutlich unterhalb der gemäss Vollzugsempfehlung zur NISV berechneten Feldstärke von 1.125V/m. Diese gemessene Feldstärke würde einer Sendeleistung ERP von 294.9W entsprechen.

Die Exposition am Messpunkt 2 liegt im Beam mit 0.78V/m deutlich unterhalb der gemäss Vollzugsempfehlung zur NISV berechneten Feldstärke von 1.125V/m. Diese gemessene Feldstärke würde einer Sendeleistung ERP von 234.2W entsprechen. Gemäss Betriebsdaten sendet diese Anlage jedoch mit einer Sendeleistung ERP von maximal 489.78W.

Die Differenz zwischen der Messung und der Berechnung kann folgende Gründe haben:

- Der Messpunkt ist nicht genau im Beamzentrum und damit wird nicht die maximale Feldstärke gemessen;
- Die Reflexionen am Gelände beeinflussen die gemessene Feldstärke da die Messungen mit einer Isotropen Antenne durchgeführt wurden;
- Bei der Umrechnung wird die Freiraumdämpfung bei 3.5GHz nicht berücksichtigt und ergibt daher eine geringere berechnete Sendeleistung;
- Andere Teilnehmer in der Zelle könnten Daten und damit Sendeleistung in ihre Richtung abrufen womit unsere Rückrechnung nicht den Wert der maximalen Sendeleistung ergibt. Daher ist in Richtung der Messpunkte nicht die volle Sendeleistung verfügbar und die gemessene Feldstärke ist kleiner.

2.4.2 Messung des Spektrums

Am Messpunkt 1 wird das Spektrum aufgezeichnet.

Fall 1: No-Traffic-Beam

Die Endgeräte sind nicht aktiv (im Flugmodus) und daher sendet die Basisstation mit dem Broadcast-Beam die Signalisationssignale aus (Broadcast-Information mit Access- und Handover-Angaben), jedoch keine Traffic-Daten.

Die folgende Abbildung zeigt das Spektrum am MP1. Die SSB-Signale überragen das restliche Spektrum des Funkbandes. Es werden keine weiteren Referenzsignale (z.B. Sounding-Reference) ausgesendet und damit ist im restlichen Frequenzband nur das Grundrauschen sichtbar.

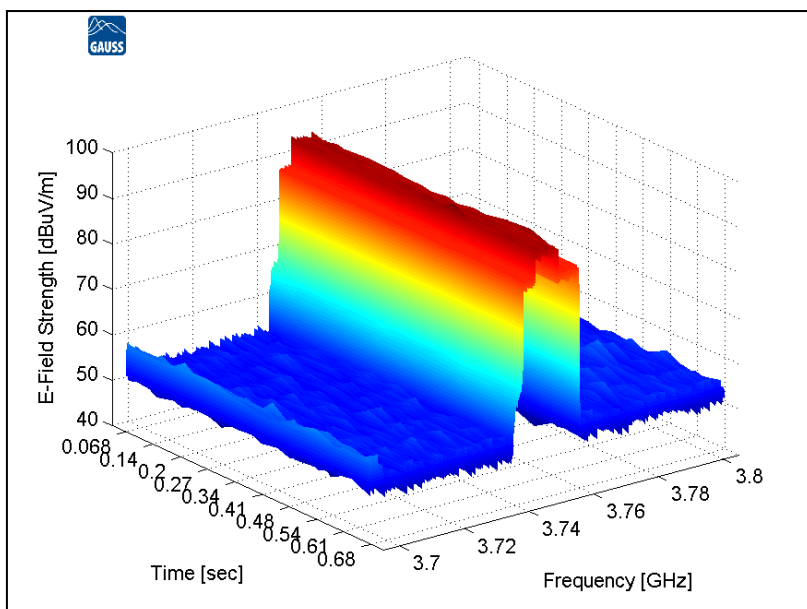


Abbildung 3: MP1, nur Signalisation, 3D-Spektrum (001_spectrogram1_3D)

Sobald sich ein Endgerät bei der Funkzelle «einlogged», sind über das ganze Funkband (3.7008 – 3.7991 GHz) Signalisationssignale – mit den gewählten Einstellungen des Spektrumanalyzers – als ein «erhöhtes» Rauschen sichtbar:

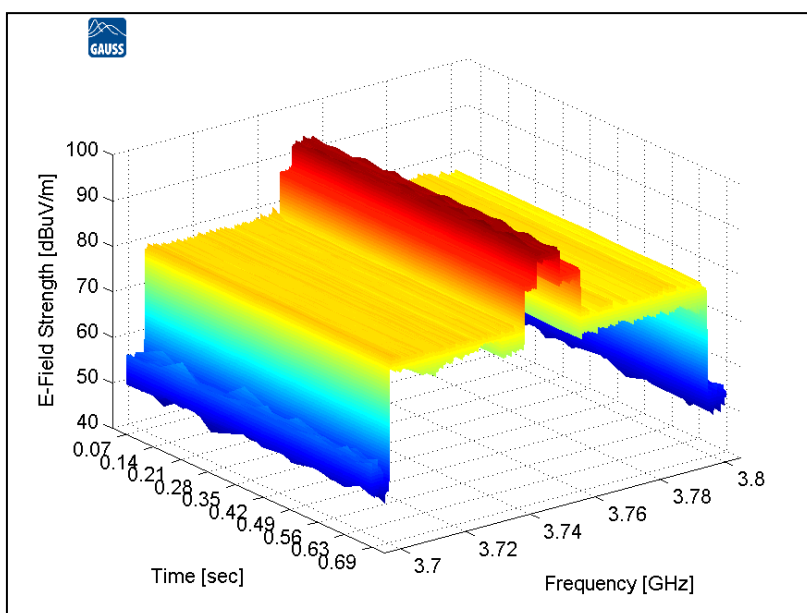


Abbildung 4: MP1, UE's in Idle-Mode (003_spectrogram1_3D)

Fall 2: Single-Traffic-Beam 1: ein Traffic-Beam auf MP1 (ein UE beim MP1)

Das Endgerät befindet sich beim MP1 und führt einen Datendownload durch. Damit sendet die Basisstation einen Traffic-Beam in Richtung des MP1.

Die folgende Abbildung zeigt das Spektrum am MP1, wo der Traffic-Beam mit maximaler Amplitude sichtbar ist. Die SSB-Signale sind nicht sichtbar.

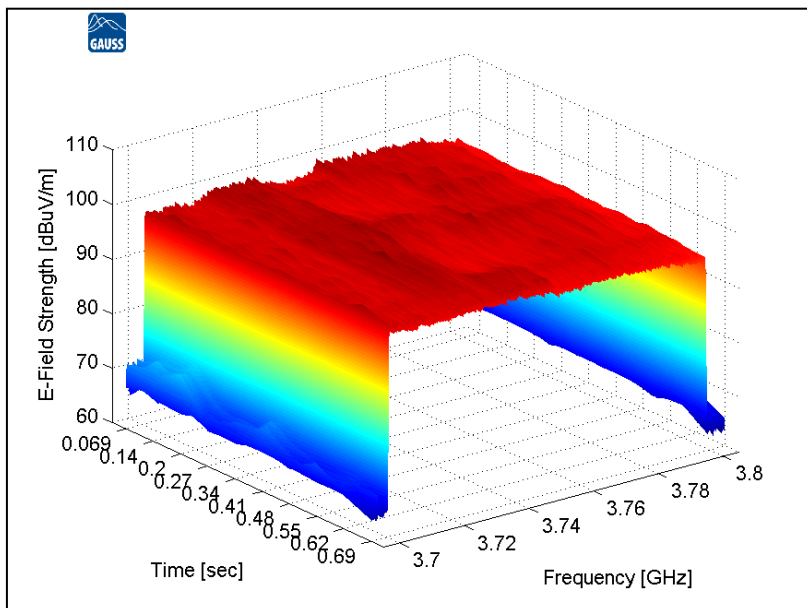


Abbildung 5: MP1, In Beam (004_spectrogram1_3D)

Fall 3: Single-Traffic-Beam 2: ein Traffic-Beam auf MP2 (ein UE beim MP2)

Das Endgerät befindet sich beim MP2 und führt einen Datendownload durch. Damit sendet die Basisstation einen Traffic-Beam in Richtung des MP2.

Die folgende Abbildung zeigt das Spektrum am MP1, wo die Nebenaussendung des Traffic-Beams auf den MP2 sichtbar ist. Die Signalstärke der Daten liegt unter derjenigen der Signalisation, womit die SSB-Signale sichtbar sind.

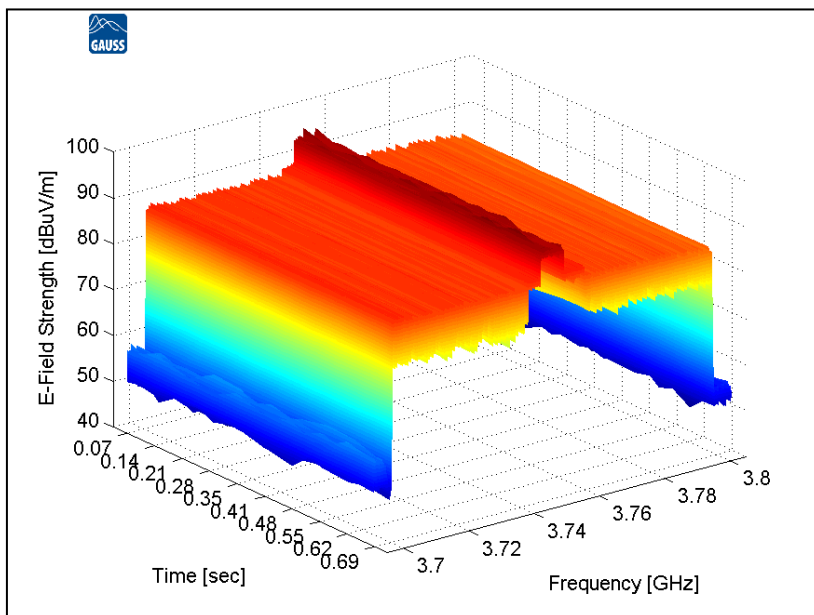


Abbildung 6: MP1, Out of Beam (006_spectrogram1_3D)

Fall 4: Dual Beam: ein Traffic-Beam 20m hinter MP1, ein Traffic-Beam 10m hinter MP2

Ein Endgerät befindet sich beim MP1 und das zweite Endgerät befindet sich beim MP2. Beide führen einen Datendownload durch. Damit sendet die Basisstation je einen Traffic-Beam in Richtung des MP1 und des MP2.

Die folgende Abbildung zeigt das Spektrum am MP1, wo der Traffic-Beam sichtbar ist. Die Sendeleistung wird auf die zwei Messpunkte verteilt und daher ist die Amplitude reduziert. Die SSB-Signale sind nicht sichtbar.

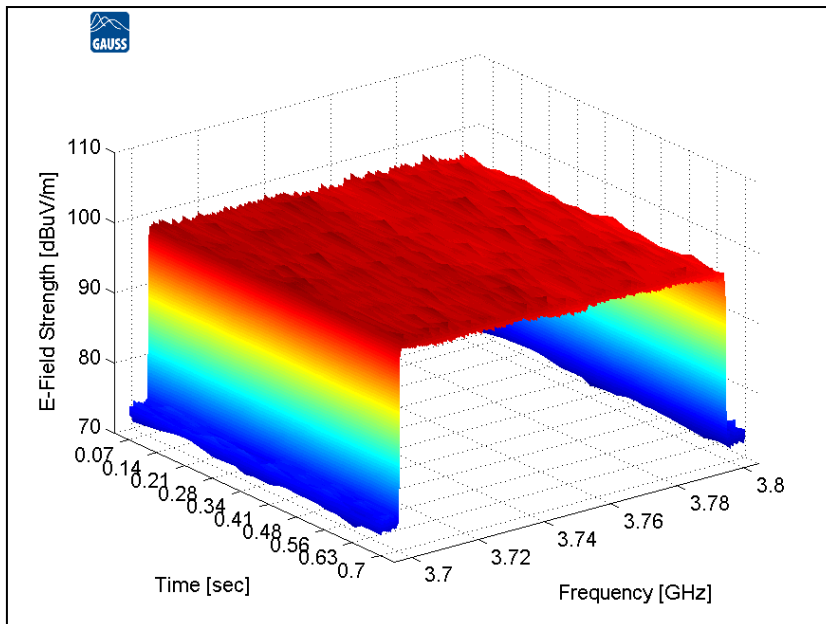


Abbildung 7: MP1, In Dual Beam (1 Beam auf MP1, 1 Beam auf MP2), (010_spectrogram1_3D)

Am Messpunkt 2 wurden keine Messungen des Frequenzspektrums durchgeführt.

2.4.3 Messung der Power-Lock-Funktion

Mit der gegebenen Konfiguration am Tag der durchgeführten Messungen konnte das Regelverhalten der Power-Lock-Funktion nicht vollständig aufgezeigt werden.

3 Analyse

3.1 Folgerungen der Nachmessungen

Aus den im Rahmen dieses Bericht-Nachtrags vorgenommenen Messungen können damit folgende Aussagen gemacht werden:

- Die Messungen zeigen, dass die gesamte Sendeleistung auf die aktuell vorhandenen Beams aufgeteilt wird. Bei mehreren gleichzeitigen Beams haben diese also pro Beam weniger Sendeleistung zur Verfügung.
- Der Vergleich der Feldstärke innerhalb und ausserhalb eines Beams zeigt eine um den Faktor 7 – 8 (17 – 18 dB) tiefere Feldstärke ausserhalb des Beams.
- Die Feldstärke verursacht durch die Signalisation ist 8 – 14-mal (18 - 23dB) tiefer als die Feldstärke verursacht durch einen einzelnen Beam.
- Die Messergebnisse bestätigen das Funktionieren der Power-Lock-Funktion.

3.2 Folgerungen aller durchgeführten Messungen im Rahmen dieses Mandats

Aus allen im Rahmen des Berichts sowie des Bericht-Nachtrags vorgenommenen Messungen können damit folgende Aussagen gemacht werden:

- Die Messungen zeigen, dass die gesamte Sendeleistung auf die aktuell vorhandenen Beams aufgeteilt wird. Bei mehreren gleichzeitigen Beams haben diese also weniger Sendeleistung zur Verfügung.
- Der Vergleich der Feldstärke innerhalb und ausserhalb eines Beams zeigen eine um den Faktor 3 – 8 (10 – 18 dB) tiefere Feldstärke ausserhalb des Beams.
- Die Feldstärke verursacht durch die Signalisation ist 8 – 14-mal (18 - 23dB) tiefer als die Feldstärke verursacht durch einen einzelnen Beam.
- Die Messergebnisse bestätigen das Funktionieren der Power-Lock-Funktion. Die durchgeführten Messungen sind nur punktuell und erfassen nicht den kompletten Sektor. Für eine Validierung muss der gesamte Sektor betrachtet werden.