



**Endbericht**

**zum Projekt**

**DAB+ Testbetrieb Wien**

## Inhalt

1. Einleitung.....	2
2. Diversity Empfang.....	3
3. Man-Made-Noise Untersuchungen.....	4
4. Holepunching Versuch.....	8
5. Flachbildfernseher als Störquelle .....	20
6. Indoor Messungen in Tiefgaragen.....	22
7. Bestserver Vergleichsmessung.....	24
8. Überprüfung der Audioqualität bei unterschiedlichen Zuführungskonzepten.....	26

### 1. Einleitung

Der hier vorliegende dritte Messbericht stellt gleichzeitig den Endbericht zum DAB+ Versuchsbetrieb in Wien dar. Im Zeitraum vom 28.05.2015 bis zum 02.04.2018 wurden bis zu 15 Radioprogramme, teilweise inkl. Zusatzdiensten, von 2 Standorten in Wien ausgesendet, und zahlreiche technische Tests durchgeführt. Die Erkenntnisse aus den Untersuchungen wurden jeweils in Berichtsform an die Behörde weitergegeben, sowie laufend mit den Projektteilnehmern geteilt. Das professionelle Zusammenwirken aller am Testbetrieb teilnehmenden Firmen bzw. Organisationen ermöglichte eine umfassende Betrachtung der Möglichkeiten sowie auch Hürden die eine DAB+ Einführung in Österreich mit sich bringt, und liefert somit eine solide Basis für einen künftigen DAB+ Rollout.

## 2. Diversity Empfang

Bei dieser Messung soll festgestellt werden, ob sich Diversity Empfang positiv auf die Empfangsstabilität bei mobilen Situationen auswirkt. Darunter versteht man ein Empfangssystem, das sich aus zwei Antennen an unterschiedlichen Positionen am Fahrzeug ergibt. Sollte es an einer Antenne zu Signalauslöschungen von einzelnen Trägern aufgrund von Reflexionen im Empfangskanal kommen, wird mit großer Wahrscheinlichkeit an der zweiten Antenne keine Auslöschung stattfinden. Somit können diese im Feld vorherrschenden Auslöschungen eliminiert werden, was zu einer höheren Empfangsstabilität führt.

Als Testszenario wurde eine Strecke am Rand des Versorgungsgebietes ausgewählt. Diese Strecke führt zu Beginn durch ein schwach versorgtes Gebiet und mündet dann in ein Versorgungsloch. Mit dem Messwagen wurden pro Messung beide Richtungen abgefahren. Die Messantennen wurden links hinten und rechts vorne am Fahrzeugdach, im Abstand von zwei Metern montiert. Sie wurden für den Diversity Betrieb mit einem 3dB-Koppler zusammengeschaltet. Für die Messung mit Single-Antenne wurde ein Eingang mit einem 50  $\Omega$  Abschluss abgeschlossen.

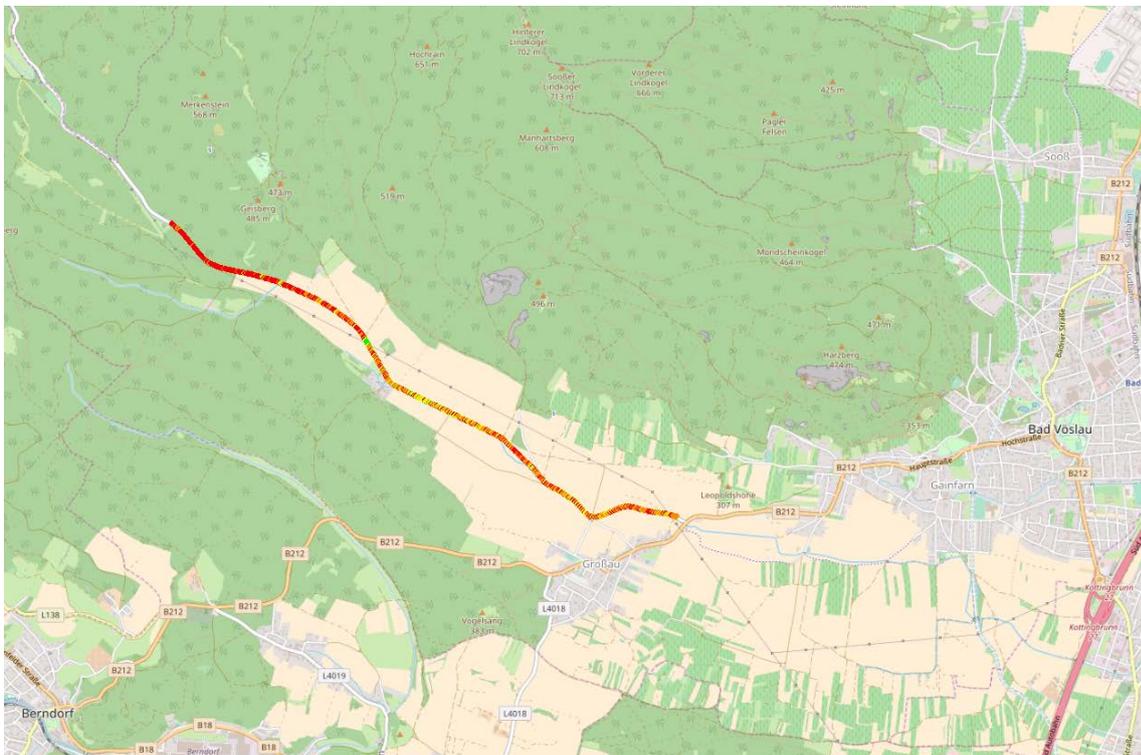


Abbildung 1: Messroute

Das Ergebnis lautet, dass durch die Verwendung einer zweiten Antenne die Qualität in Form der gemessenen „Modulation Error Rate“ um bis zu 8 dB verbessert werden konnte, siehe Abbildung 2.

Es ist somit erwiesen, dass Diversity zu einer Empfangsverbesserung im mobilen Einsatz beiträgt und sollte nach Möglichkeit verwendet werden!

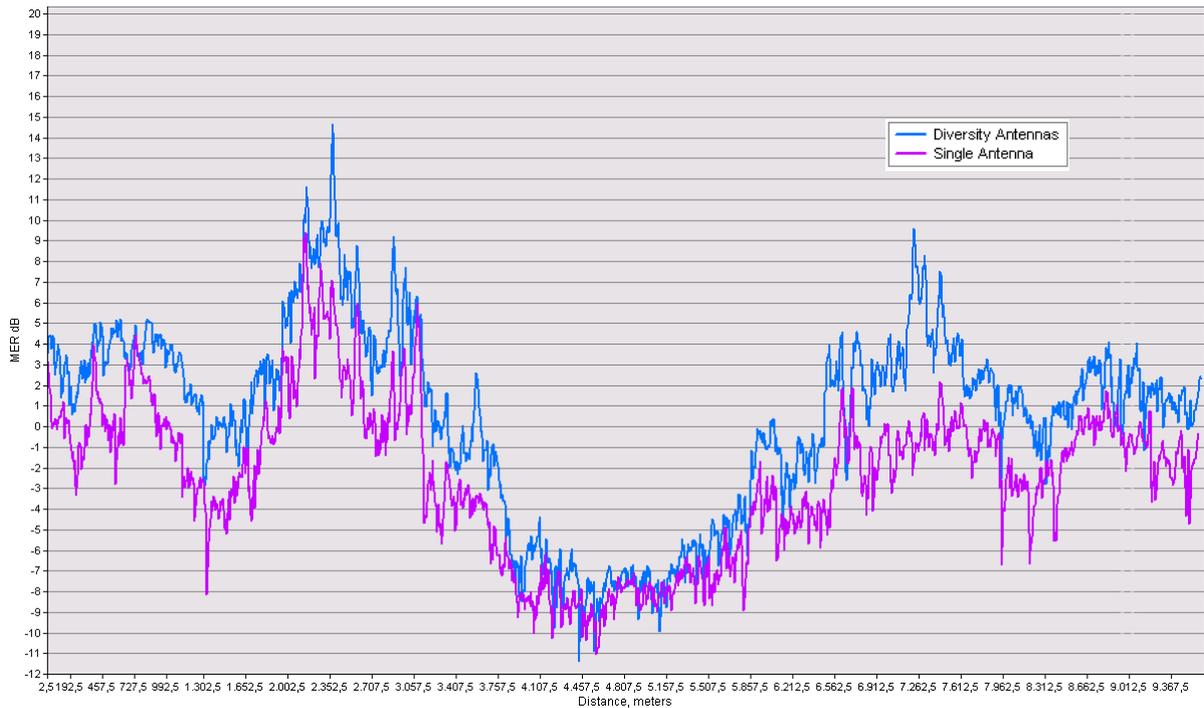


Abbildung 2: Single Antenna vs. Diversity

### 3. Man-Made-Noise Untersuchungen

Aufbauend auf den Messungen zu Man-Made-Noise im ersten Messbericht 2016 (Störpotential von LED-Lampen) wurden weitere Messungen angestellt. Diese Messungen befassen sich mit der örtlichen Veränderung des Rauschpegels im Nutzkanal und den Störeinflüssen bzw. der Anhebung des sogenannten Noise Floor beispielsweise durch Haushaltsgeräte oder Computer.

#### Örtliche Veränderung des Rauschpegels im Band III

Ziel dieser Messung ist es von unterschiedlichen Kanälen im Frequenzband III den Rauschpegel mobil im Stadtgebiet zu messen. Aufgrund von Störquellen (→ Man-Made-Noise) unterschiedlichster Art wird davon ausgegangen, dass der Verlauf des Rauschpegels nicht gleichbleibend sein wird. Ein DAB+ Signal benötigt einen gewissen Stör-Nutzsignal Abstand (C/N Wert) um störungsfrei empfangbar zu sein. Falls dieser unterschritten wird, bricht der Empfang ab. Durch eine Anhebung des Rauschpegels sinkt der C/N Wert trotz gleichbleibendem Nutzsignalpegel und führt somit zu einer örtlichen Beeinflussung des Empfangs eines DAB+ Signals.

Die Messung kann als Planungsgrundlage eines DAB+ Netzes dienen. Sie gibt Aufschluss, welche Sicherheitszuschläge man zu den Minimum- C/N Werten für ein optimiertes Netz addieren muss. Die Auswirkungen sind am stärksten bei empfangsschwachen bzw. stark reflexionsbehafteten Signalen, wie bei Indoor Empfang.

Gemessen wurde das Rauschen der Übertragungskanäle 8D (201,072MHz), 10D (215,072 MHz) und 12D (229,072 MHz)

Die mobilen Messungen haben gezeigt, dass der Rauschpegel an der gemessenen Strecke in Wien im Durchschnitt um ca. 4 dB schwankt. Die Standardabweichungen sind in Tabelle 1 dargestellt:

Kanal	Standardabweichung in dB
8D	1,8
10D	1,9
12D	1,8

Tabelle 1: Standardabweichungen

Die Messung wurde im Wiener Stadtgebiet durchgeführt. Die Messroute ist in Abbildung 3 visualisiert.

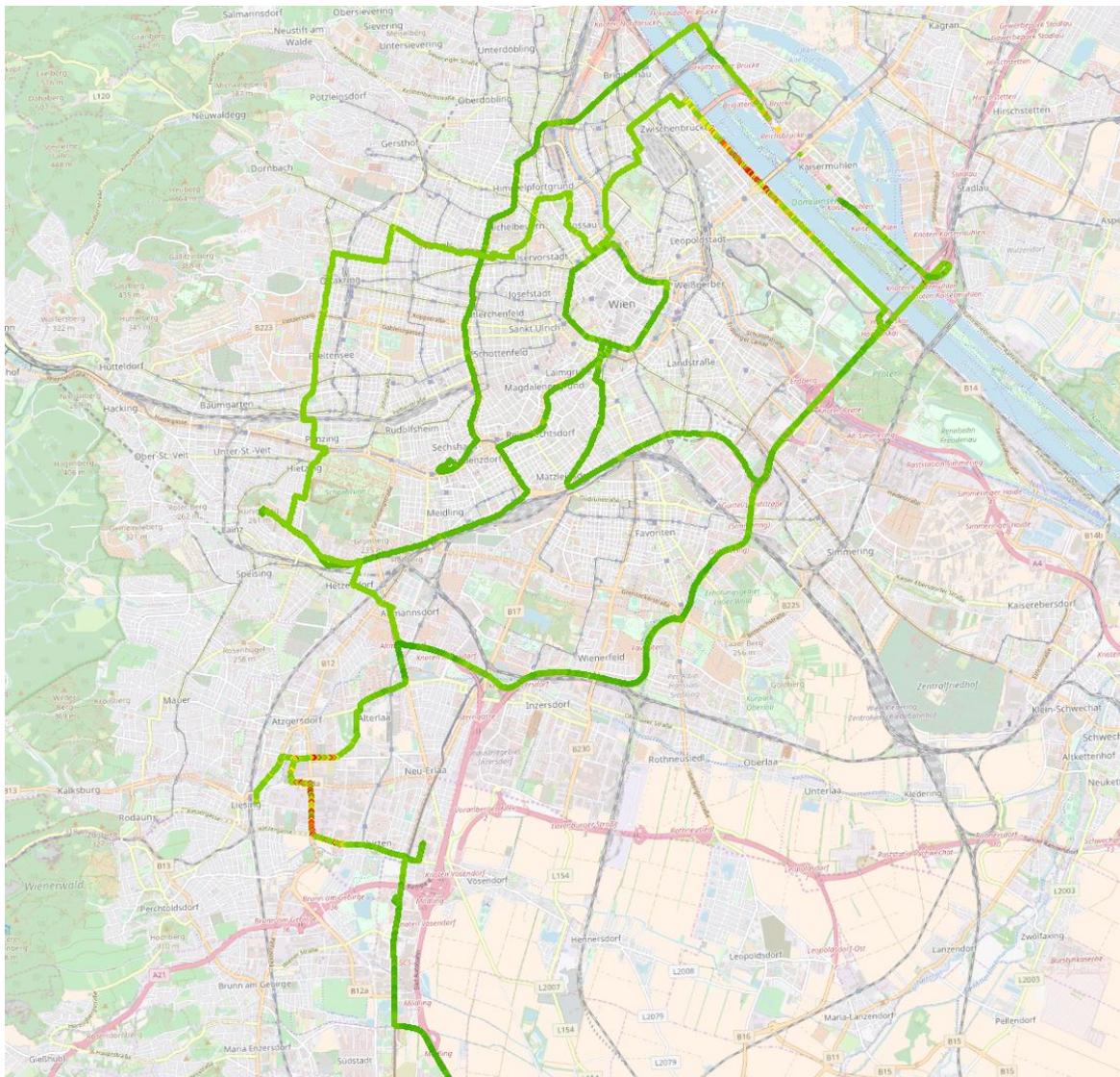


Abbildung 3: Messroute Noise Kanal 10D

Sehr auffällig war der deutliche Anstieg der Feldstärke am Kanal 10D am Handelskai und im Gebiet Liesing. In der Berechnung der Statistikwerte wurden diese Bereiche ausgenommen. Nachdem der mobile Messempfänger breitbandig misst, wurde in diesen Bereichen der Einfluss durch den Sender Wien 9 – DC Tower 1 (DCT) und Wien 8 - Liesing (IGL) am Kanal 11D vermutet. Aufgrund der Breitbandigkeit des Messgeräts wurde davon ausgegangen, dass am Kanal 10D in Realität keine derartige Erhöhung stattfindet und die falschen Messwerte durch Aussteuerung des Messempfängers verursacht werden.

Dennoch wurde in der Nähe vom Sender DC Tower eine stationäre Messung durchgeführt, um die These zu belegen. Dafür wurde ein selektiveres Messgerät ausgewählt und das Spektrum am Ort untersucht, welches in Abbildung 4 zu sehen ist.

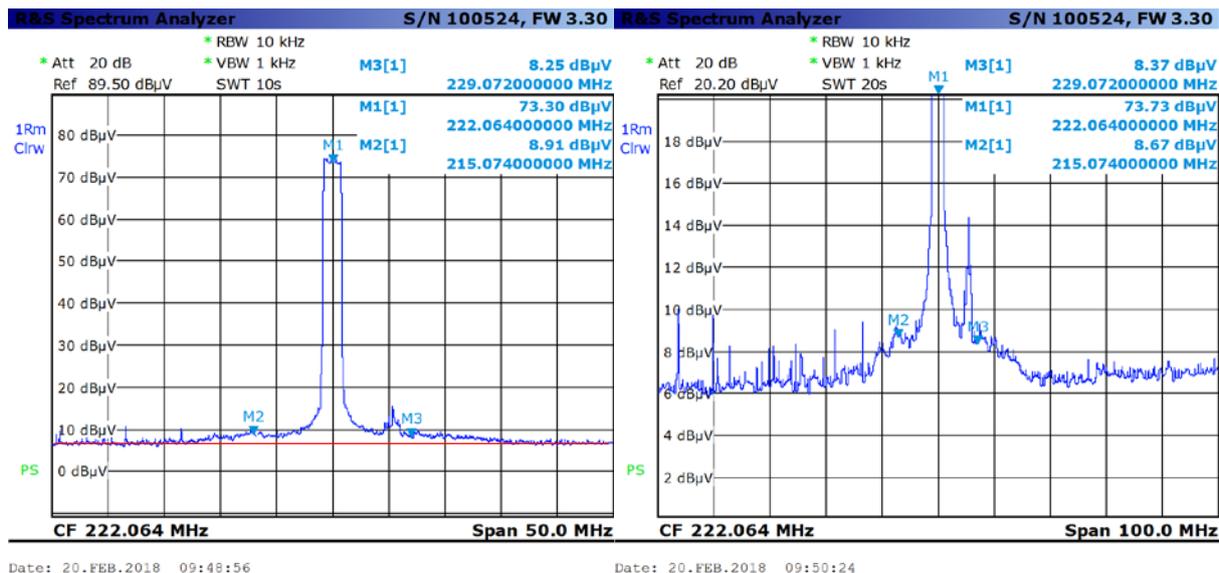


Abbildung 4: Spektrum stationärer Messpunkt Wien Handelskai; li. vollständige Signalhöhe re. vergrößerte Darstellung des Rauschbereichs

Es hat sich gezeigt, dass im Kanal 10D (Marker M2) das Rauschen um ca. 2dB höher ist. Prinzipiell ist eine Beeinflussung bis 120 MHz im unteren und 150 MHz im oberen Frequenzbereich zu sehen. Die Problematik daran ist nun, dass wenn man in der Nähe von einem starken Sender an einem Nachbarkanal ein schwaches Signal empfangen möchte, addiert sich zusätzlich zum bereits schlechten C/N Wert die in unserem Fall gemessenen 2 dB vom höheren Noise, was in weiterer Folge trotz genügendem Eingangspegel Empfangsausfälle produziert. Solche Situationen können sich speziell bei Indoor Empfang ergeben.

Man darf hier aber nicht außer Acht lassen, dass der Messempfänger, obwohl dieser richtig eingestellt wurde und ein gültiges Messergebnis liefert, bereits durch den sehr starken Sender beeinflusst wird und die Anhebung des Rauschens nicht real ist, sondern ein Messfehler. Trotzdem wird dieser Effekt bei DAB+ Empfängern, eventuell sogar noch stärker aufgrund der schlechteren Selektivität, auftreten.

Im Bedarfsfall ist in der Planung auf diesen Effekt mit entsprechenden Sicherheitsreserven Rücksicht zu nehmen.

## 4. Holepunching Versuch

Unter Holepunching versteht man die Störsituation, die durch zwei Sender, die auf Nachbarkanälen senden (im Beispiel zur Veranschaulichung 10A und 10B), entsteht. Das Störpotential entsteht durch spektrale Signalanteile, die aufgrund der hohen Sendeleistung trotz Maskenfilter und der Empfängerselektivität in den benachbarten Kanal hineinragen, siehe Abbildung 5

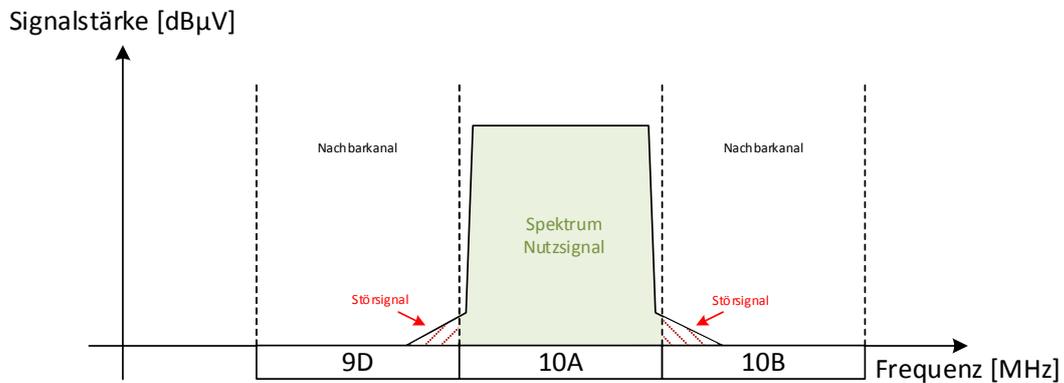


Abbildung 5: Nachbarkanal Störsituation

Sobald nun ein weiterer Sender am Kanal 10A, der sich an einem anderen Standort befindet und somit in der Umgebung des Senders am Kanal 10B schwächer empfangen wird, kann dieser gestört werden, siehe Abbildung 6.

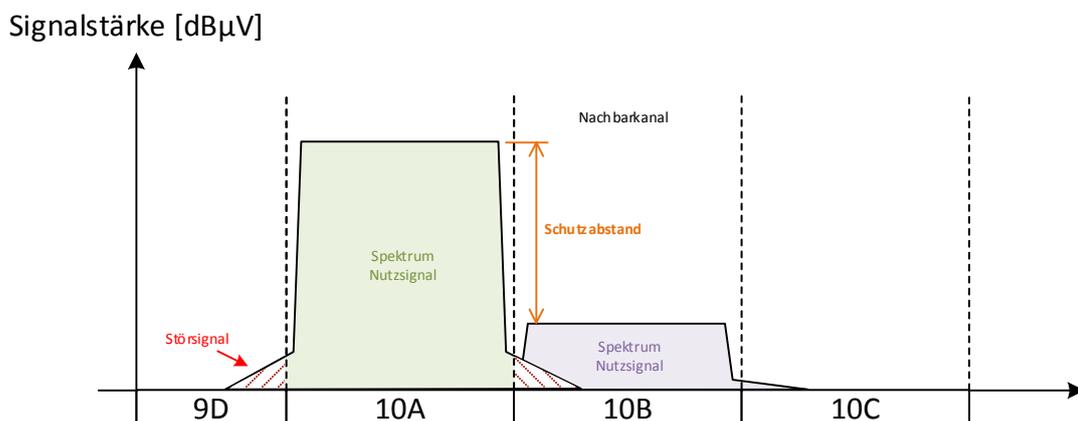


Abbildung 6: Auswirkung d. Störung

Somit ergibt sich auch die Definition des Schutzabstandes, der besagt, dass ein Signal, in unserem Beispiel, am Kanal 10A maximal um den Wert des Schutzabstandes höher sein darf, als das Nutzsignal am Kanal 10B. Sobald das Signal am Kanal 10A stärker werden würde, muss mit Empfangsstörungen am Kanal 10B gerechnet werden.

Man geht hier in der Theorie von 25 dB aus. In der Praxis wird aber mit Werten zwischen 30 und 40 dB gearbeitet. Dieser Wert wurde im Versuch am DAB+ Testbetrieb in Wien verifiziert.

Bei diesem Versuch wurden im Bereich vom Sender Wien IGL die Störwirkung von IGL (Kanal 11C) auf den Empfang vom Sender DCT, Kanal 11D) gemessen, sowie im Bereich von DCT die Störwirkung von DCT auf IGL.

## Messgebiet IGL

Laut der Berechnung der Simulationssoftware Chirplus wird folgendes Störgebiet mit einem standardmäßig hinterlegten Störabstand von 25 dB erwartet.

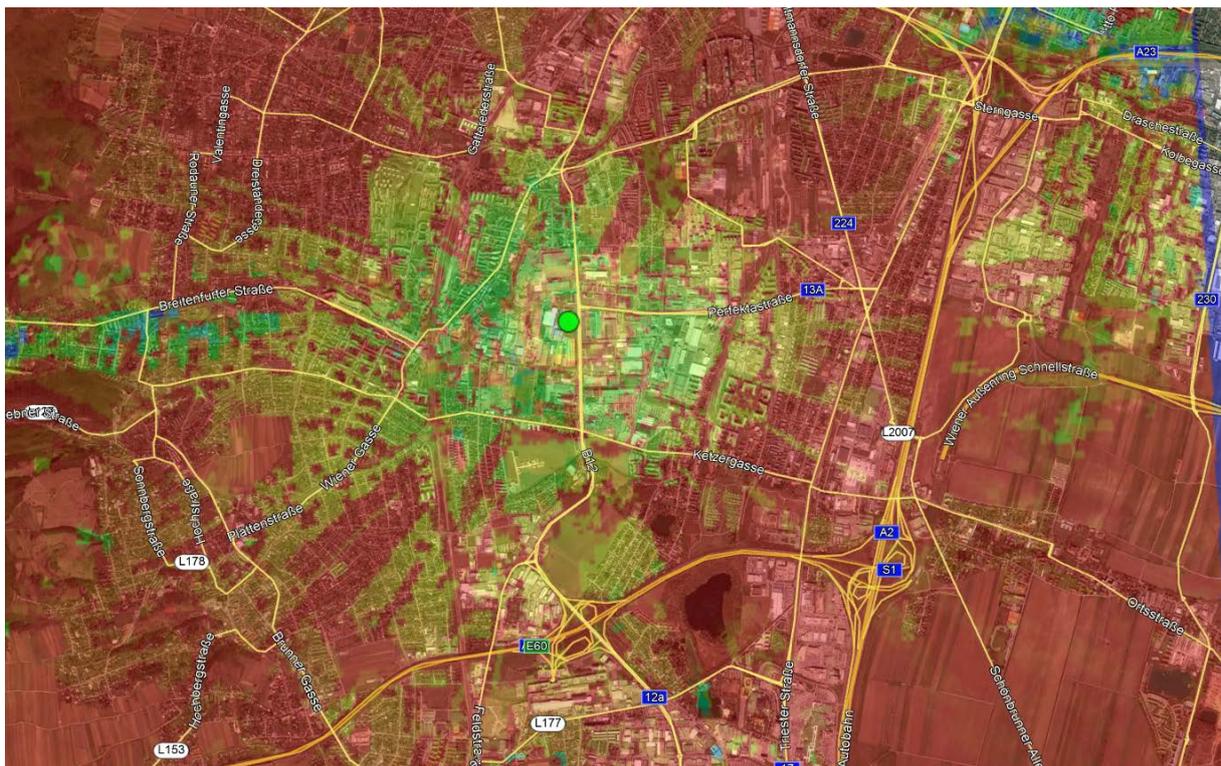


Abbildung 7: Simulation von DCT 11D gestört durch IGL 11C

In Abbildung 7 ist deutlich in Grün die gestörte Empfangszone zu erkennen. Sie hat eine Form eines Empfangslochs in der sonstigen Netzabdeckung des Senders DCT, daher spricht man bei diesem Störeffekt von „Holepunching“.

Die Störwirkung konnte deutlich gemessen werden und ist in Abbildung 8 bzw. Abbildung 9 durch die BER des Programms „Radio Technikum“ visualisiert.

**Grün:** Empfang gerade noch störungsfrei möglich

**Rot:** Empfang gestört, es sind Aussetzer im Programm hörbar

Während der Messung wurde mit folgenden DAB+ Empfängern eine Audiokontrolle durchgeführt:

- Dual DAB7 mit Teleskopantenne
- Blaupunkt Bamberg 470 mit Autoantenne
- Hama Hama DIR3100 mit integrierter Antenne

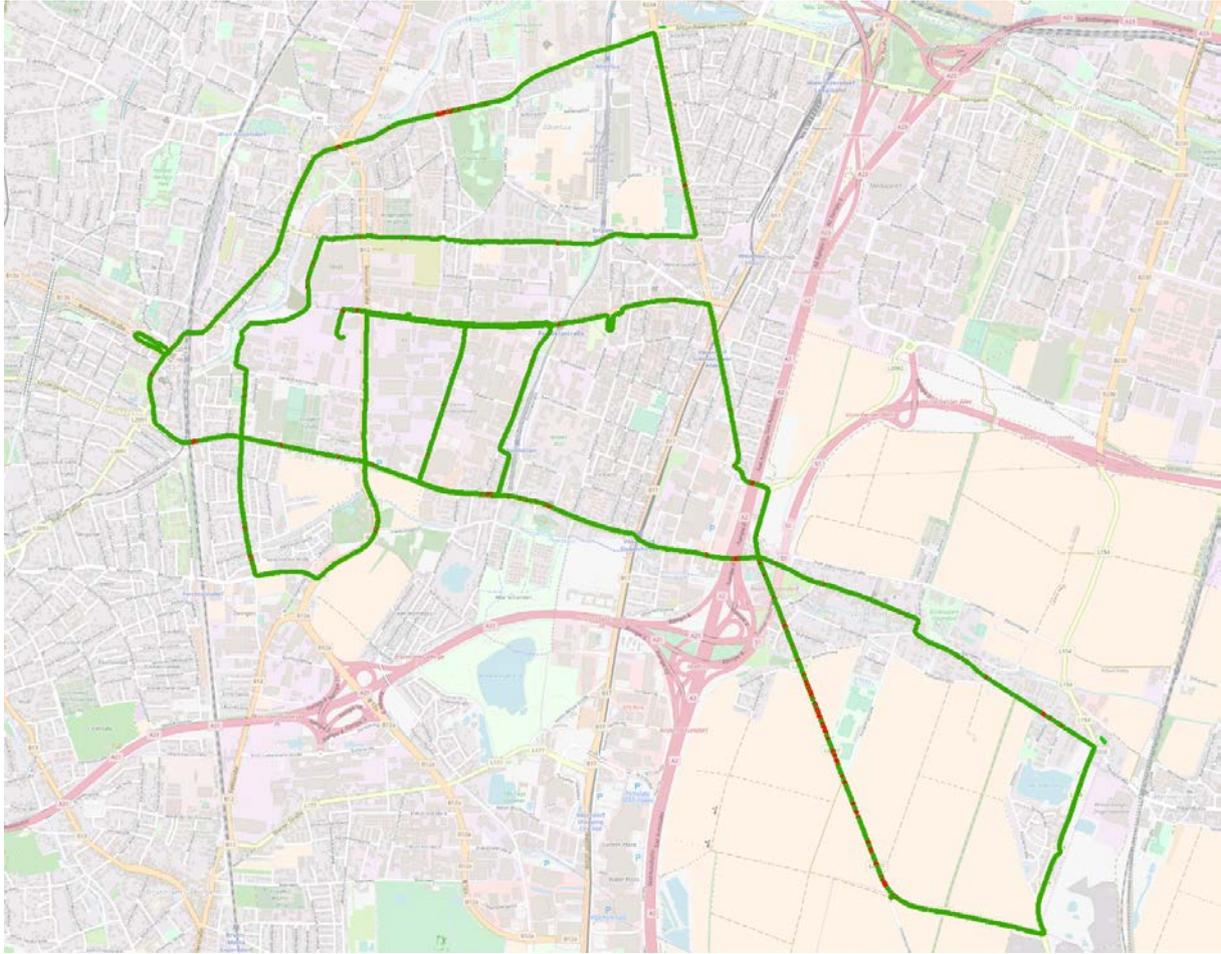


Abbildung 8: Messung BER DCT 11D, IGL abgeschaltet

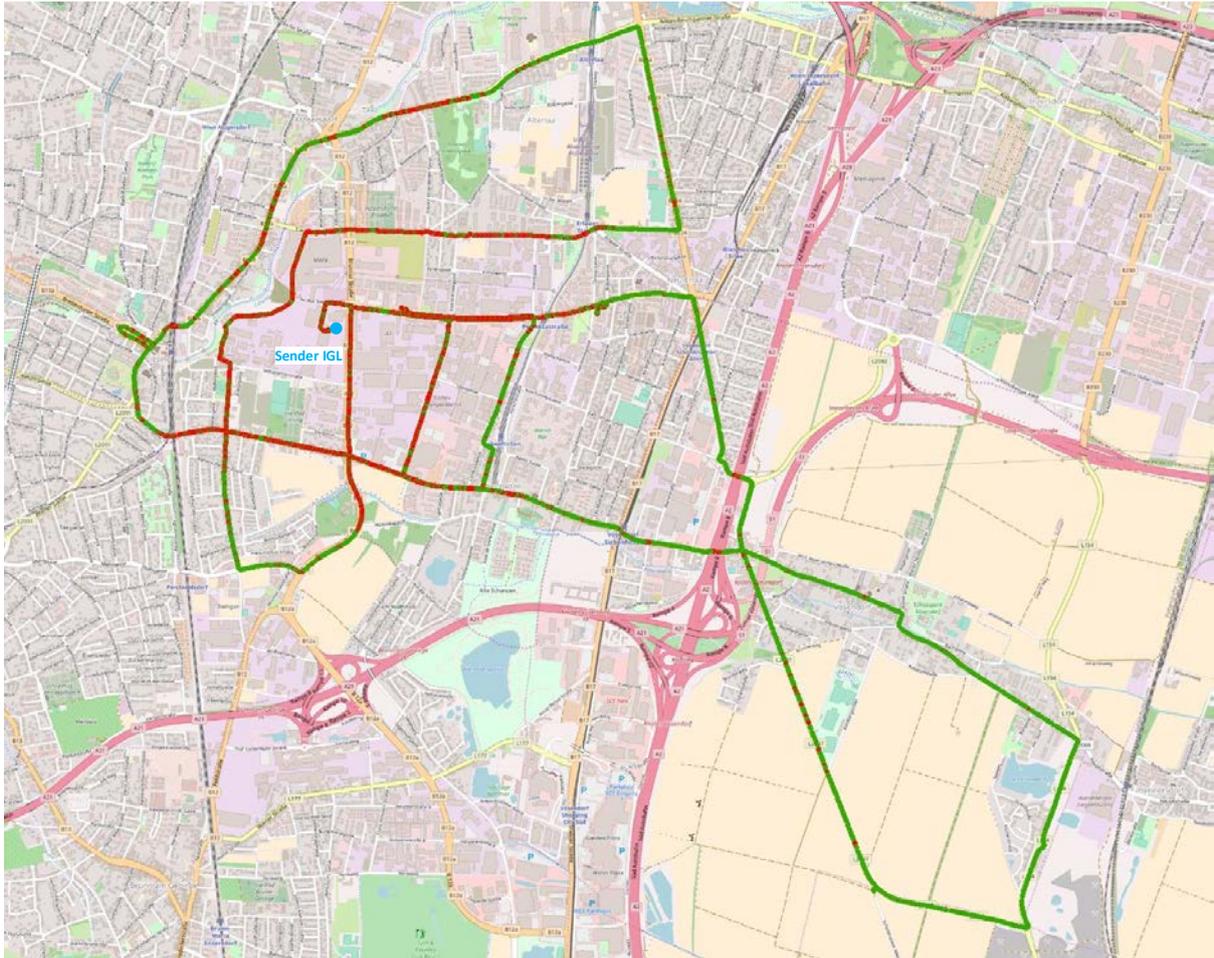


Abbildung 9: Messung BER, DCT 11D gestört durch IGL 11C

Direkt im Störungsgebiet wurden zusätzlich stationäre Messungen durchgeführt. Hierfür wurde eine Omni-Antenne verwendet und eine Höhenfunktion zwischen 3 und 10 Meter aufgenommen.

Exemplarisch wurde folgender Messpunkt (Abbildung 10) zur Veranschaulichung der Pegelverhältnisse herangezogen.

Die mittlere Feldstärke des Signals von DCT betrug an diesem Messpunkt  $80 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$  (Abbildung 11). Jene von IGL betrug  $116,6 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$  (Abbildung 12). Es ergibt sich also ein Nachbarsignalabstand von  $36,6 \text{ dB}$ .

Die MER ist bei ausgeschaltetem Sender IGL (Abbildung 11 li.) im Mittel bei ca.  $23 \text{ dB}$  und das Programm ist einwandfrei empfangbar. Bei eingeschaltetem Sender IGL (Abbildung 11 re.) war die MER im Bereich von  $0 \text{ dB}$  und das Signal konnte nur ab  $8,5 \text{ m}$  sporadisch demoduliert werden.

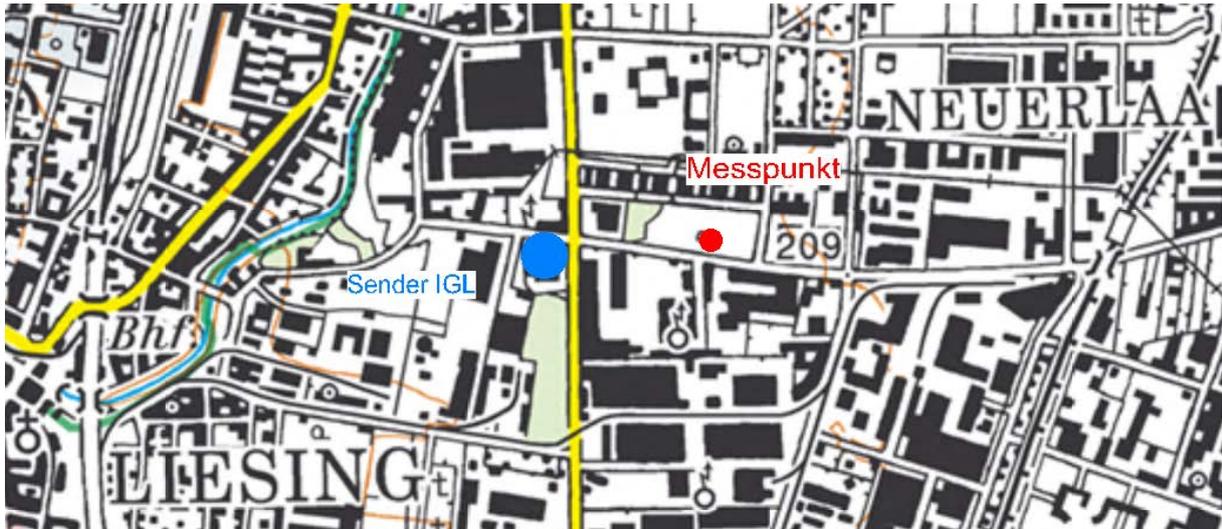


Abbildung 10: Messpunktübersicht

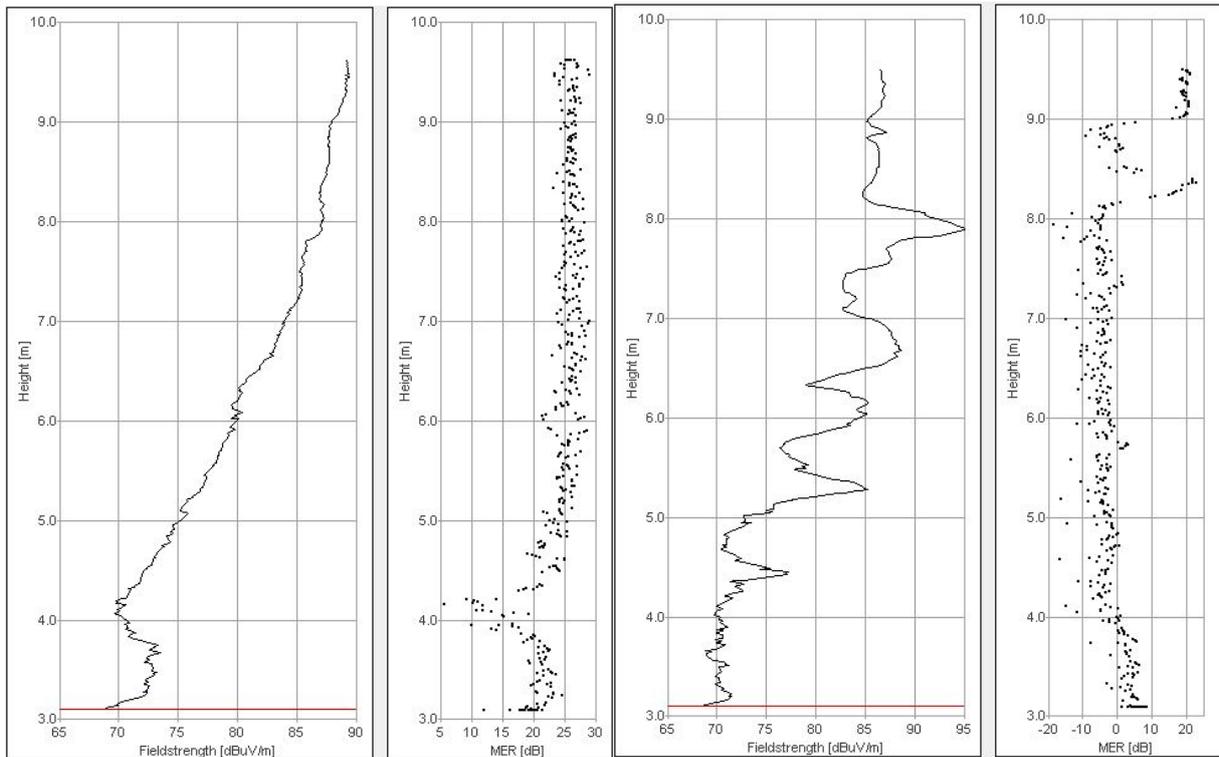


Abbildung 11: Höhenfunktion 11D DCT , li. 11C IGL aus - re. 11C IGL ein

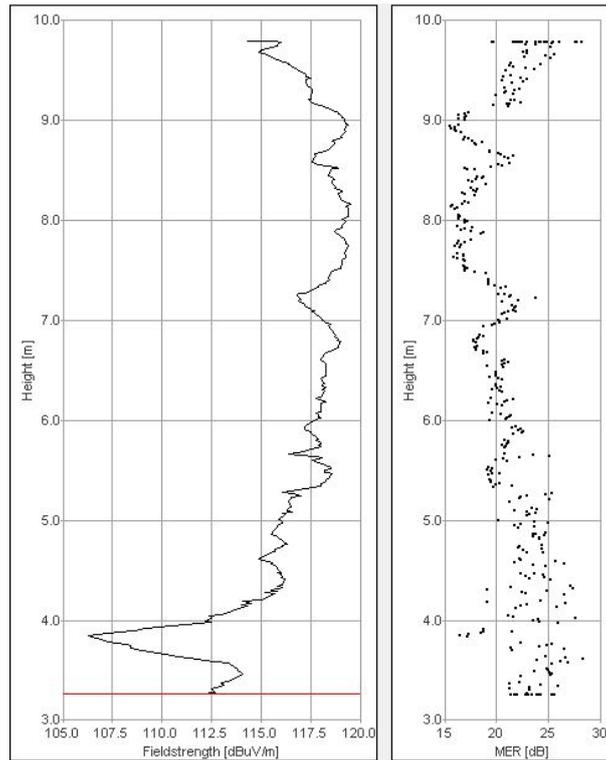


Abbildung 12: Höhenfunktion IGL

## Messgebiet DCT

Im Bereich des Senders DCT wurde die in Abbildung 13 dargestellte Störwirkung vorhergesagt. Die Störwirkung stellt in der Intensität der Farbe blau die Stärke des Effekts dar.

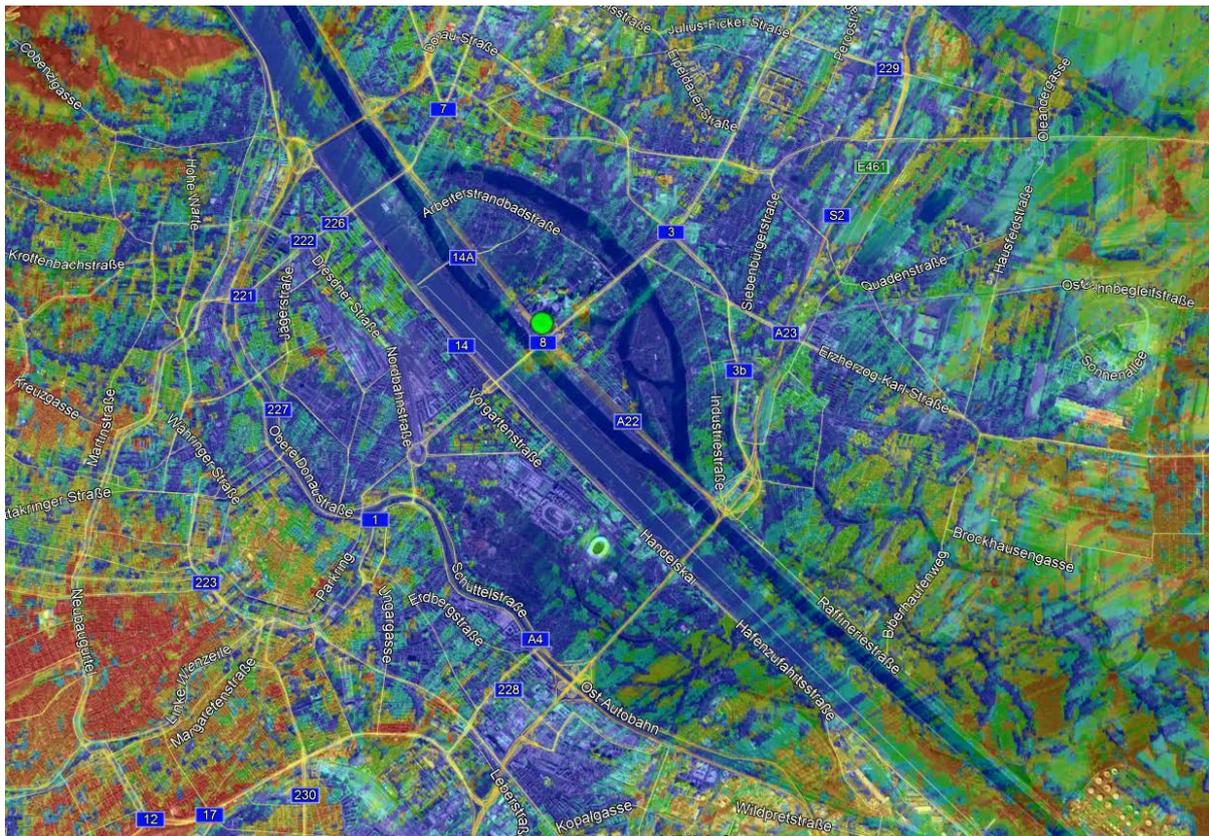


Abbildung 13: Simulation von IGL gestört durch DCT

Auch bei dieser Messung wurden stationäre Messungen durchgeführt.

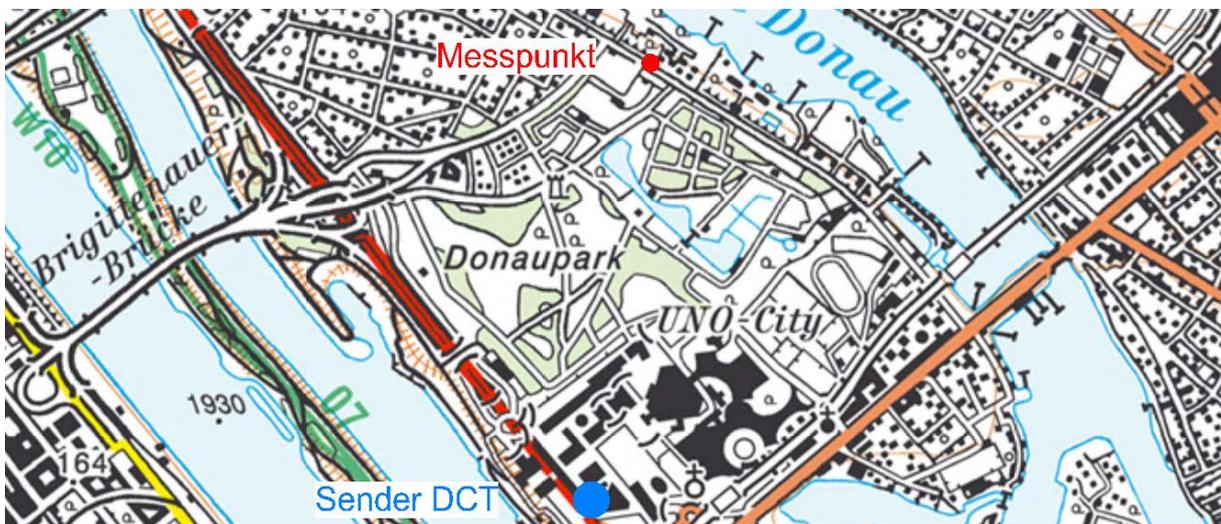


Abbildung 14: Messpunktübersicht

Die mittlere Feldstärke des Signals vom Sender IGL betrug 60,8 dB $\mu$ V/m. Die MER war an diesem Messpunkt bei ausgeschaltetem Sender DCT (Abbildung 15 li.) nicht ideal mit einem Durchschnittswert von 9 dB. Dennoch konnte das Signal ohne Aussetzer wiedergegeben werden.

Sobald DCT wieder in Betrieb genommen wurde brach die MER und somit der Empfang von IGL ein (Abbildung 15 re.). Die Feldstärke nahm in der Messung aufgrund der nicht ausreichenden Selektivität des Messempfängers durch den Einfluss von DCT um ca. 10 dB zu.

Die Signalfeldstärke von DCT betrug an diesem Messpunkt 109,7 dB $\mu$ V/m (Abbildung 16). Somit ergab sich ein Nachbarsignalabstand von fast 50 dB.

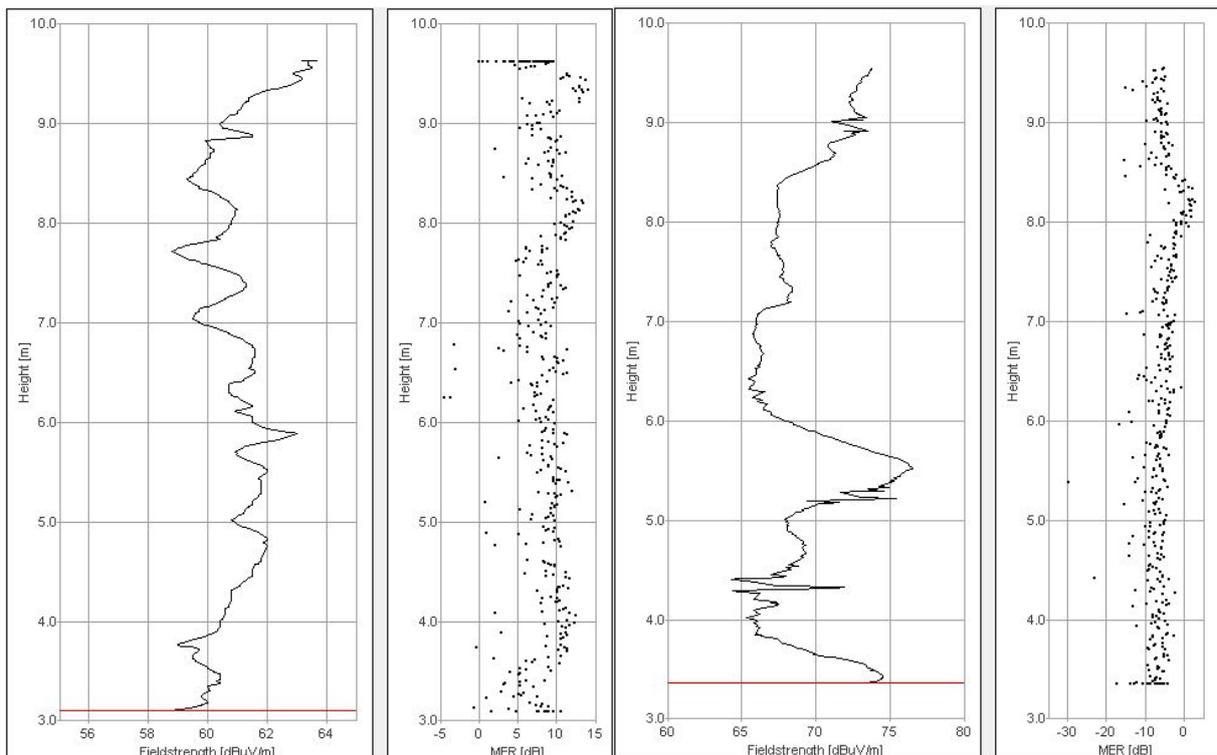


Abbildung 15: Höhenfunktion 11C IGL, li. 11D DCT aus - re. 11D DCT ein

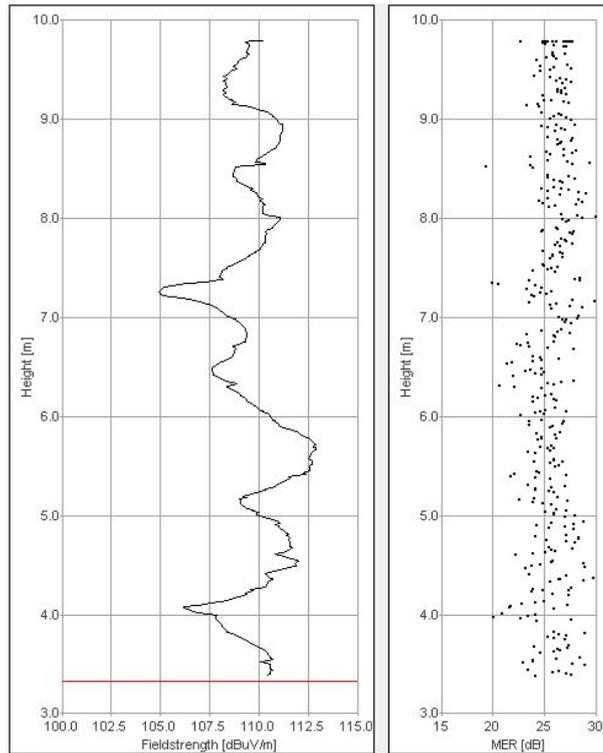


Abbildung 16: Höhenfunktion DCT 11D

Während der mobilen Messung wurde festgestellt, dass aufgrund der geringen Signalstärke von IGL in diesem Gebiet bereits bei ausgeschaltetem Sender DCT Störungen auftraten, Abbildung 17. Der Holepunching Effekt konnte hier aber dennoch gemessen werden, Abbildung 18.

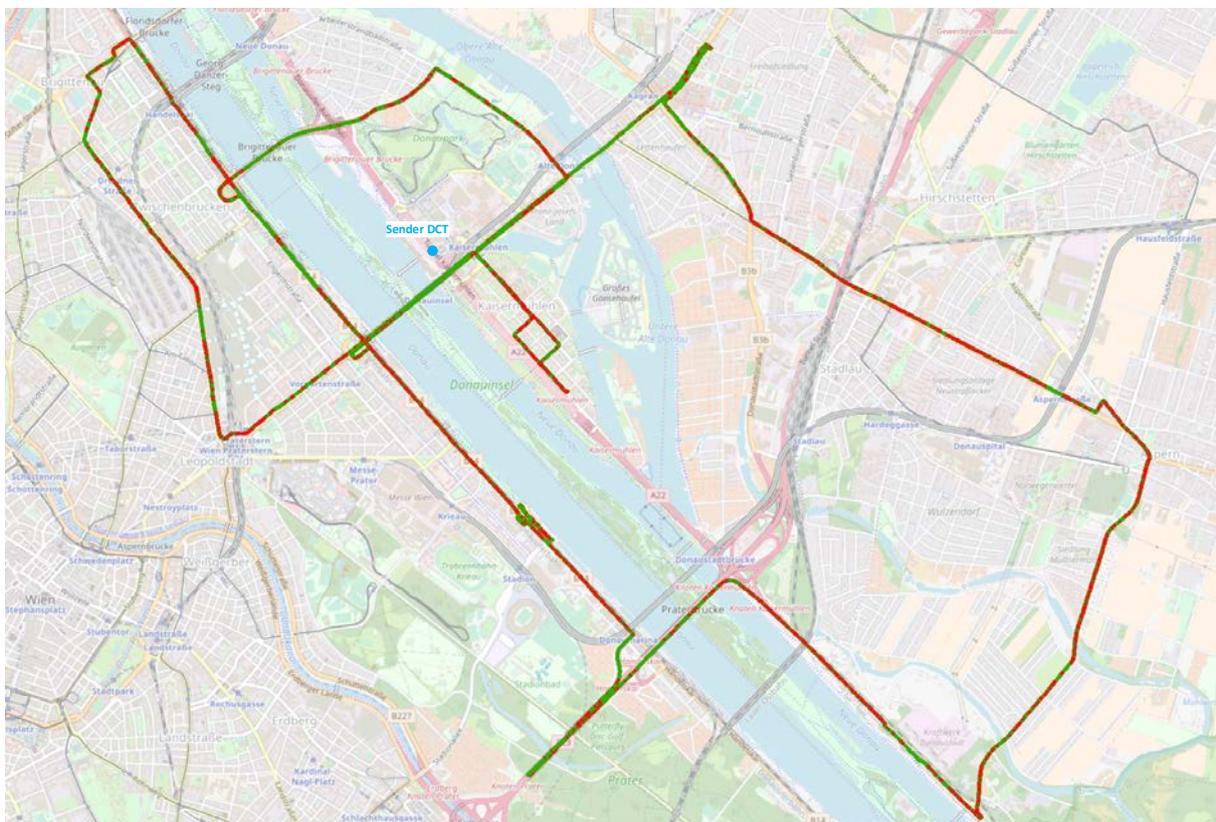


Abbildung 17: Messung BER, IGL (DCT ausgeschaltet)

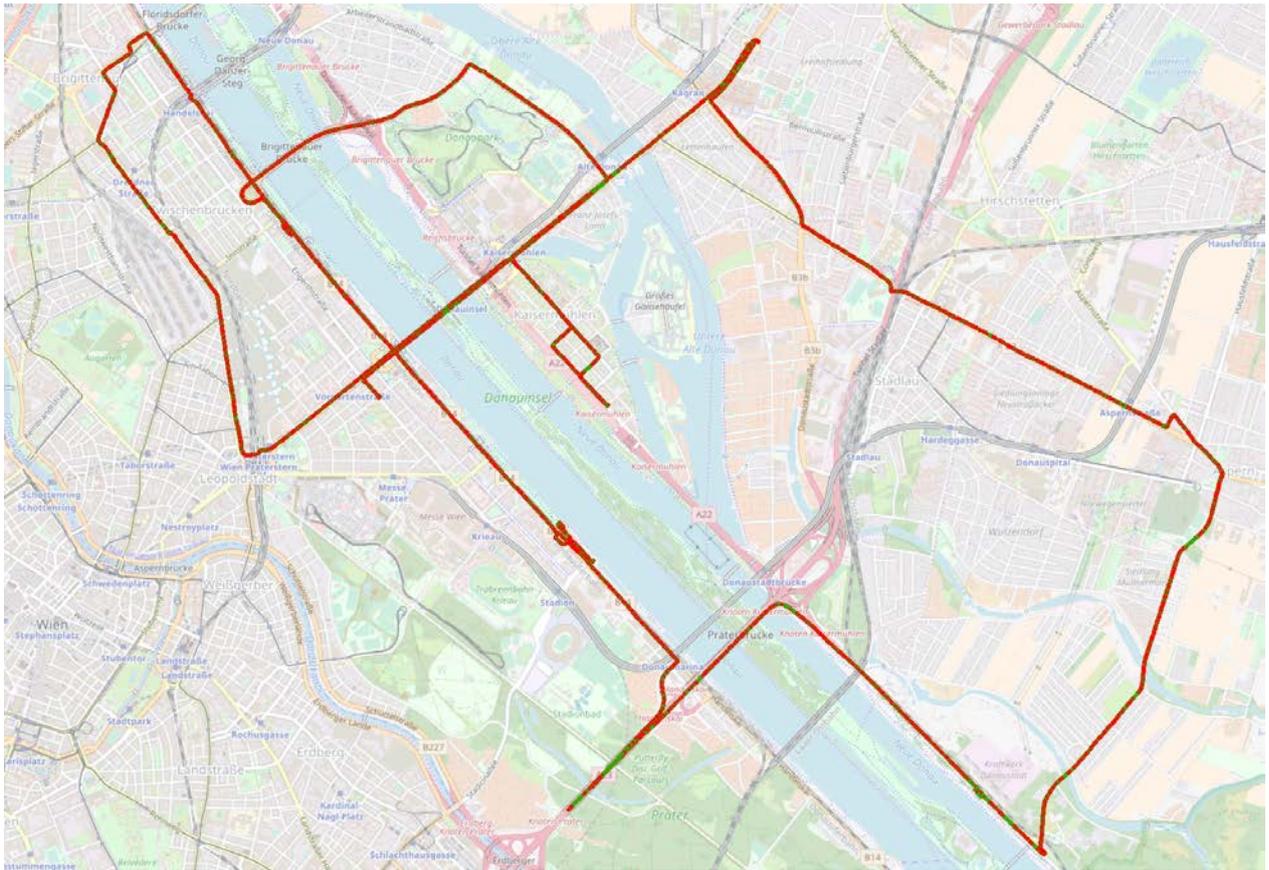


Abbildung 18: Messung BER, IGL gestört durch DCT

Bei dieser Messung war das Signal von IGL fast im gesamten Messbereich gestört.

**Evaluierung des praxisnahen Schutzabstandes:**

Zur Evaluierung welcher Schutzabstand am ehesten der Realität entspricht, wurde wie folgt vorgegangen:

1. Aus den mobilen Messergebnissen wurde die Differenz von der Feldstärke des Senders IGL – DCT (bzw. DCT – IGL) gebildet.
2. Von der Differenz wurden 3 Darstellungen erstellt:
  - Differenz Werte unter 40 dB (entspricht Schutzabstand 40 dB)
  - Differenz Werte unter 35 dB (entspricht Schutzabstand 35 dB)
  - Differenz Werte unter 30 dB (entspricht Schutzabstand 30 dB)
3. Im nächsten Schritt wurden diese Ergebnisse mit dem Ergebnis der BER-Messung verglichen.

## Ergebnisse:

Beim Vergleich konnte die größte Übereinstimmung in beiden Fällen (Holepunching IGL und Holepunching DCT) mit 30 dB Schutzabstand erzielt werden. Hier waren die Empfangsaussetzer der BER-Messung sehr ähnlich der Überschreitung des Schutzabstandes, siehe Abbildung 19 und Abbildung 20.

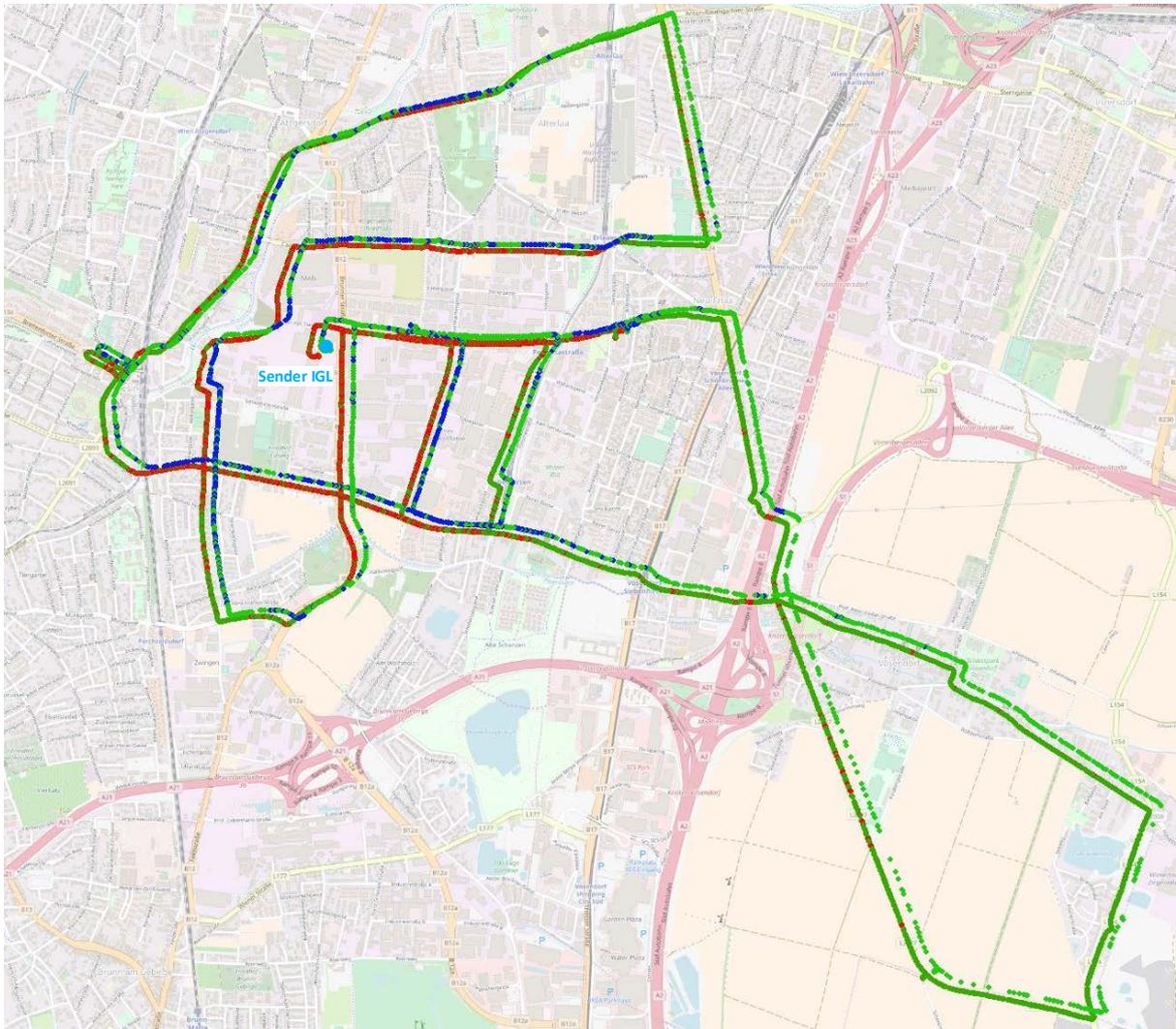
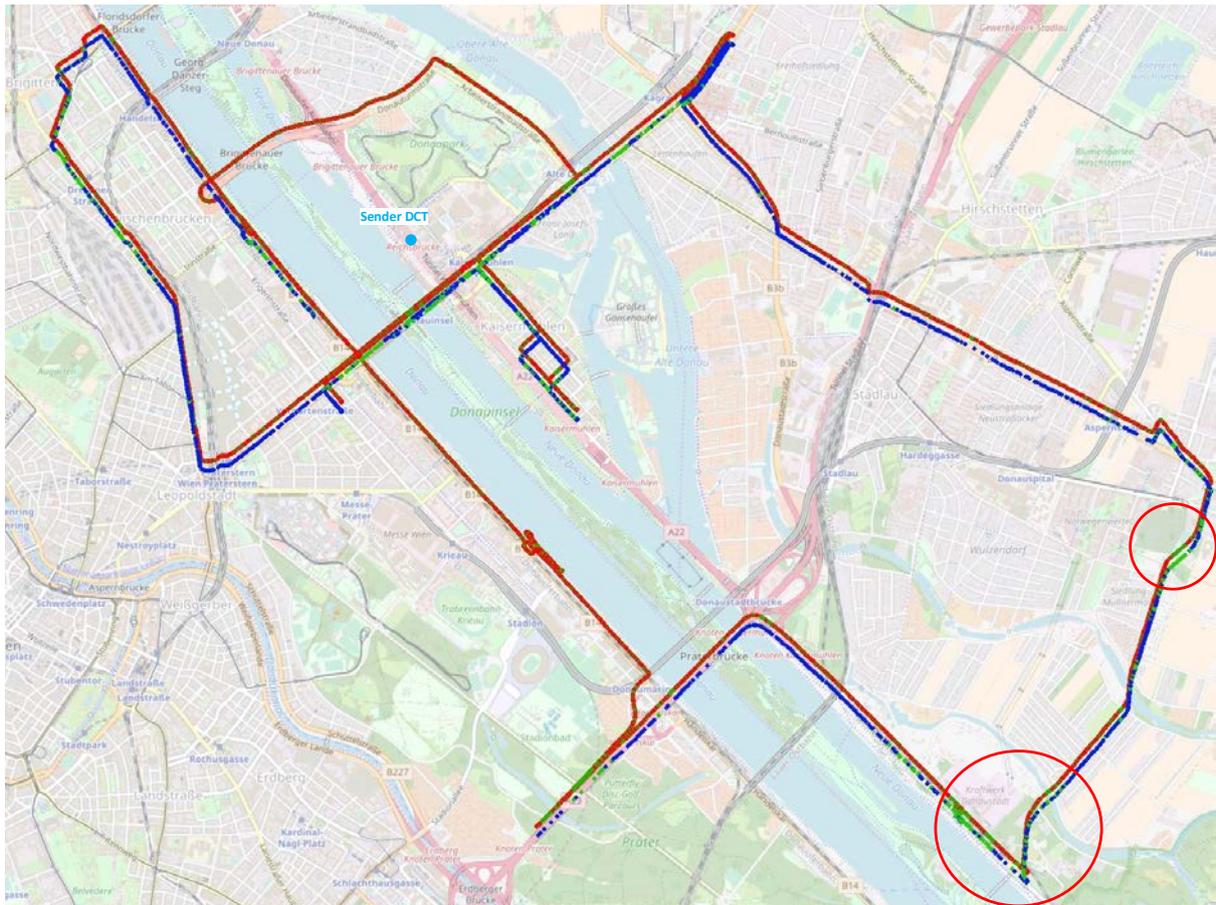


Abbildung 19: Holepunching IGL, Schutzabstand 30 dB vs. BER



**Abbildung 20. Holepunching DCT, Schutzabstand 30 dB vs. BER**

Die Rot-Grüne Messlinie zeigt die BER, Blau-Grün entspricht dem Schutzabstand.

Falls der Schutzabstand überschritten wurde, sind diese Messpunkte Blau dargestellt. Diese Zonen decken sich in den mit Kreisen markierten Bereichen sehr gut mit den Messungen der BER.

In den Bereichen unmittelbar um die Sender IGL und DCT musste von einem Vergleich abgesehen werden, da hier das Messsystem nicht selektiv genug messen konnte und daher die Messwerte des jeweils schwächeren Signals verfälscht wurden.

Im Vergleich dazu zeigten die Auswertungen mit einem Schutzabstand von 35 dB und 40 dB bereits zu große Abweichungen zur Realität.

Für künftige Beurteilung von Nachbarkanalsituationen lautet die Empfehlung mit einem Schutzabstand von höchstens 30 dB zu kalkulieren. Idealerweise sollten Nachbarkanalsituationen auf unterschiedlichen Senderstandorten im gleichen Versorgungsbereich vermieden und die beiden Sender an einem Standort zusammengezogen werden.

## 5. Flachbildfernseher als Störquelle

Ein großes Problem für den stationären Empfang von sämtlichen Rundfunktechnologien sind lokale Störquellen, die sich in der Nähe der Empfangsantenne befinden. Oftmals besitzen Indoor-Antennen aktive Verstärker, die eine sehr geringe Signalfilterung aufweisen. Sobald sich nun eine Störquelle im Bereich der Antenne befindet, können diese ungefiltert in den Empfangsweg gelangen und je nach Stärke und Frequenzbereich der Störquelle das Nutzsignal überlagern oder den Verstärker der Antenne zum Aussteuern bringen, sodass empfangsschwache Nutzsignale im Rauschen untergehen und nicht mehr empfangbar sind.

Geräte bei denen man eine typische Störquelle vermuten würde sind leistungsstarke Netzteile, Laptops, Mikrowellenherde, aber auch typische Flachbildfernseher. Oftmals ist in der Nähe eines Flachbildfernsehers auch die HIFI-Anlage mit DAB+ Empfangsgerät positioniert. Es wurde daher eine Untersuchung angestellt, welches Störpotential von diversen Geräten ausgehen kann.

Es wurde im Abstand von einem Meter zum jeweiligen Gerät das Frequenzspektrum im ausgeschalteten (blaue Messkurve) und eingeschalteten (gelbe Messkurve) Gerätezustand gemessen und verglichen. Der Hauptfokus der Störungsuntersuchung lag im Empfangsbereich von DAB+.

### Hier ein paar Beispiele aus den Messungen:

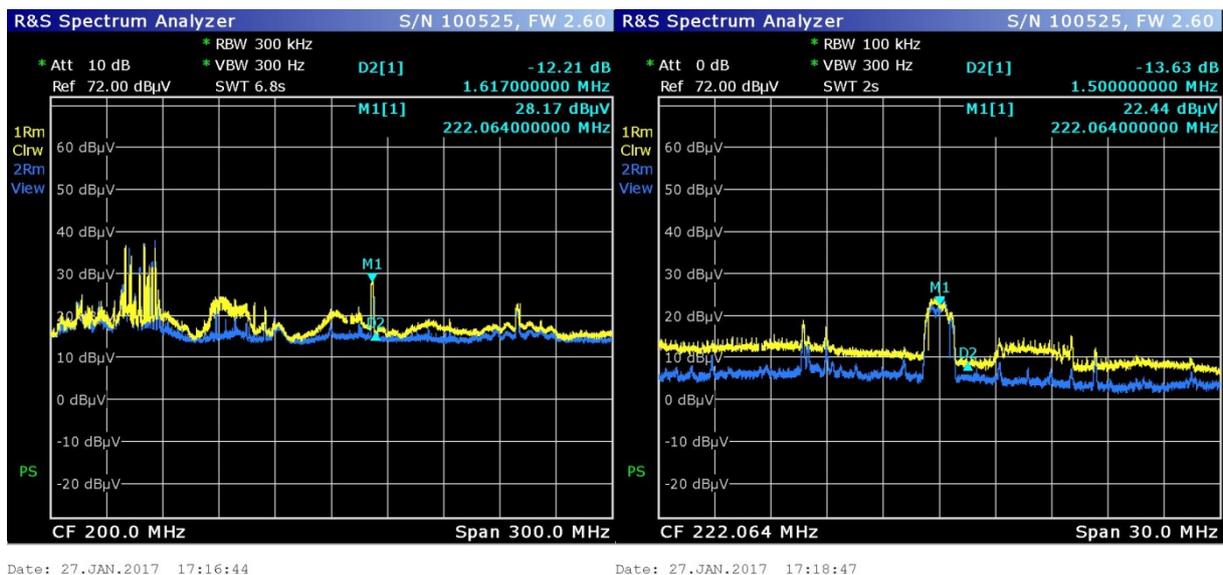
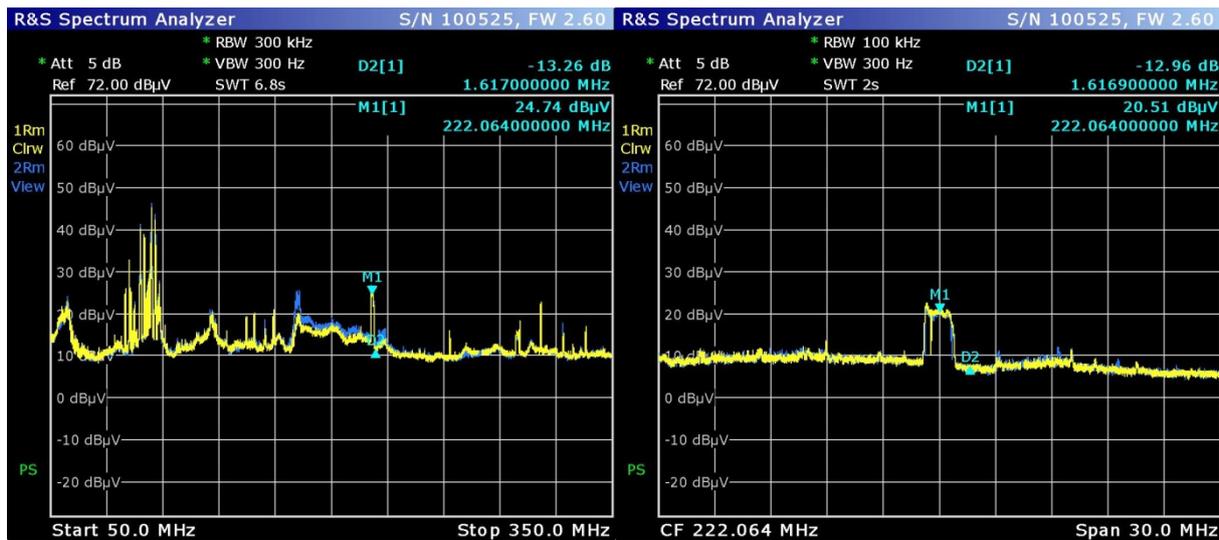


Abbildung 21: Frequenzspektrum LCD Computermonitor ORS Büro (li. breitbandig, re. schmalbandig Kanal 11D)

In der Messung Abbildung 21: Frequenzspektrum LCD Computermonitor ORS Büro (li. breitbandig, re. schmalbandig Kanal 11D) gab es eine messbare Störsignalerhöhung im Bereich von 150 MHz und bei 200 MHz. Im Kanal 11D wurde der Stör-Nutzsignal Abstand um ca. 4 dB angehoben, sprich die Empfangsreserve wurde um 4 dB verschlechtert. Hier wäre aufgrund des brauchbaren C/N Wertes (> 10 dB) grundlegend ein DAB+ Empfang möglich gewesen.

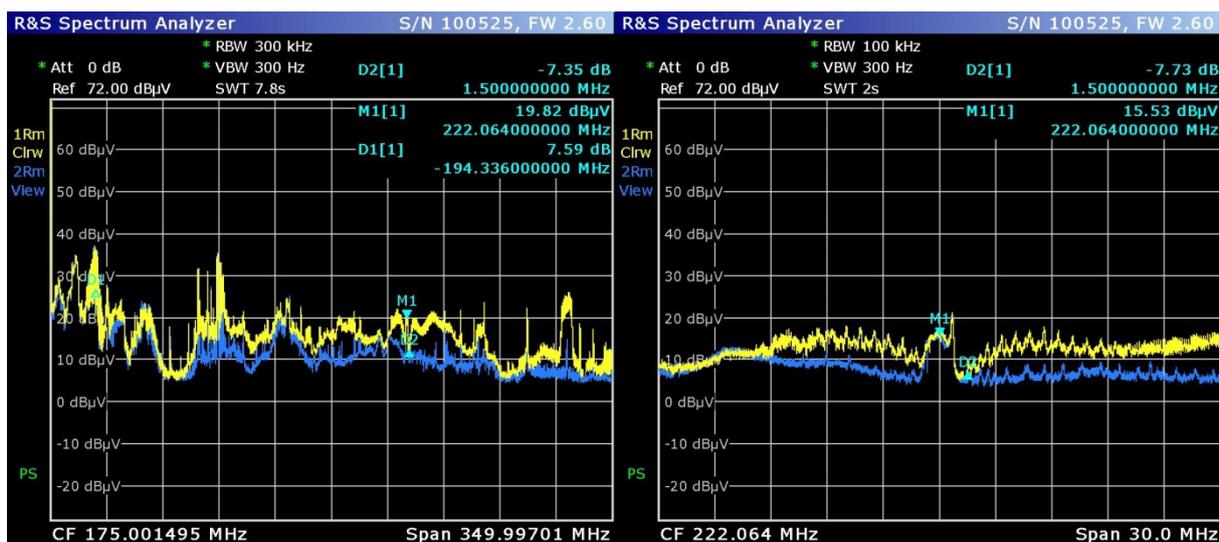


Date: 27.JAN.2017 17:01:15

Date: 27.JAN.2017 17:02:05

Abbildung 22: Frequenzspektrum Mikrowelle ORS Büro (li. breitbandig, re. schmalbandig Kanal 11D)

Eine Mikrowelle (Abbildung 22) hatte überraschenderweise ein sehr geringes Störpotential. Die Erhöhung im eingeschalteten Zustand war kaum messbar.



Date: 27.JAN.2017 17:27:31

Date: 27.JAN.2017 17:25:59

Abbildung 23: Sony LCD 40" (li. breitbandig, re. schmalbandig Kanal 11D)

Durch einen Sony LCD Fernseher (Abbildung 23) ergibt sich eine sehr breitbandige Störung, die im Spitzenfall bis zu 15 dB über den Rauschpegel schlägt. Im Kanal 11D war das Störpotential zufälligerweise gleich Null. Alle anderen Kanäle wären stark beeinflusst und ein Empfang wäre nicht mehr möglich.

## Erkenntnisse:

Aufgrund dieser Messungen lässt sich ableiten, dass ein Grund für Empfangsprobleme die Antennenposition in der Nähe einer Störquelle in Form von Haushaltsgeräten sein kann. Deswegen sollte darauf geachtet werden, die Antennen, speziell Zimmerantennen, entsprechend weit weg von Gerätschaften aufzustellen.

## 6. Indoor Messungen in Tiefgaragen

Es wurden Messungen in Tiefgaragen durchgeführt, wobei hier einerseits versucht wurde Dämpfungswerte von Garagen zu ermitteln, andererseits wurde die sogenannte Empfangsreserve festgehalten. Die Empfangsreserve sagt aus, wie stark das Nutzsignal zusätzlich abgedämpft werden kann, sodass die DAB+ Empfänger noch ein Signal wiedergeben können. Hier sollte aufgrund des erhöhten Reflexionsanteils innerhalb der Garage ein deutlicher Unterschied zu den Messungen außerhalb feststellbar sein.

Die Messungen wurden am DAB+ Kanal 11C in der Tiefgarage des ORF Zentrums Küniglberg, sowie in der Garage der ORS, Storchengasse 1 (Wien) durchgeführt.

Das Signal von der Empfangsantenne wurde über einen 3dB-Splitter auf ein Pioneer SX20 Empfangsgerät und auf den Messempfänger R&S ETL aufgeteilt.

Zunächst wurde eine Messung direkt vor der Garageneinfahrt durchgeführt, Abbildung 24.

**R&S ETL Digital Overview** S/N 100524, FW 3.30  
Ch: --- RF 220.352000 MHz T-DMB/DAB

\* Att 0 dB  
ExpLvl 59.50 dBuV

**MER (rms)** **34.6 dB**

Ensemble: CityMUX Wien II		Date & Time(UTC):05.04.2018, 12:55:49	
Pass	Limit	Results	Limit Unit
Level	47.0	52.4	117.0 dBuV
Sideband		Normal	
Transmission Mode		Mode I, 1536 carriers	
Carrier Freq Offset	-30000.0	13.1	30000.0 Hz
Bit Rate Offset	-20.0	0.1	20.0 ppm
MER/EVM (rms)	24.0	34.6	dB
MER/EVM (peak)	10.0	21.5	dB
BER before Viterbi		0.0e-7(10/100)	1.0e-2
FIB Errors		0	1 /s

**Subchannel parameters (SubChId ---, Type ---)**

BER before RS		Not applicable	2.0e-4
Packet Error Ratio		Not applicable	1.0e-8
Packet Errors		Not applicable	1 /s
MPEG Ts Bitrate		Not applicable	kbit/s

Lvl 52.4dBuV | BER 0.0e-7 | MER 34.6dB | DEMOD | FIC

Date: 5.APR.2018 14:03:13

Abbildung 24: Max. Eingangssignal Kanal 11C, vor Garage

Für die Umrechnungen auf Feldstärkewerte ist die Addition des Antennenkorrekturfaktors von 21,3 dB sowie 3 dB aufgrund des Splitters nötig.

R&S ETL Digital Overview		S/N 100524, FW 3.30	
Ch: --- RF 220.352000 MHz T-DMB/DAB			
* Att 0 dB ExpLvl 59.50 dBµV			
<b>MER (rms)</b>		-----	
Ensemble: ---		Date & Time(UTC):---	
Fail	Limit	< Results	< Limit Unit
Level	47.0 *	6.9	117.0 dBµV
Sideband		----	
Transmission Mode		----	
Carrier Freq Offset	-30000.0	----	30000.0 Hz
Bit Rate Offset	-20.0	----	20.0 ppm
MER/EVM (rms)	24.0	----	---- dB
MER/EVM (peak)	10.0	----	---- dB
BER before Viterbi		----	1.0e-2
FIB Errors		----	1 /s
Subchannel parameters (SubChId ---, Type ---)			
BER before RS		----	2.0e-4
Packet Error Ratio		----	1.0e-8
Packet Errors		----	1 /s
MPEG Ts Bitrate		----	kbit/s
Lvl 6.9dBµV   ---   ---		DEMOD	FIC
Date: 6.APR.2018 07:36:56			

Abbildung 25: Min. Eingangssignal, vor Garage, 34 dB Dämpfung

Das Empfangssignal konnte um 34 dB auf ca. 7 dBµV gedämpft werden, bis sich beim Empfangsgerät Störungen bemerkbar machten (Abbildung 25). Das Messgerät konnte bei dieser Signalstärke keine Demodulation mehr durchführen.

Innerhalb der Garage (Messpunkt ca. 30 m von Garageneinfahrt entfernt und 5 Meter unter Niveau) trat bereits eine enorme Dämpfung von 40 dB auf (Vergleich Abbildung 24 mit Abbildung 26). Das Signal zeigte bereits eine hohe Biterror-Rate, der Empfang war aber ohne Aussetzer möglich.

R&S ETL Digital Overview		S/N 100524, FW 3.30	
Ch: --- RF 220.352000 MHz T-DMB/DAB			
* Att 0 dB ExpLvl 17.00 dBµV			
<b>MER (rms)</b>		<b>4.9 dB</b>	
Ensemble: CityMUX Wien II		Date & Time(UTC):06.04.2018, 06:31:37	
Fail	Limit	< Results	< Limit Unit
Level	47.0 *	12.5	117.0 dBµV
Sideband		Normal	
Transmission Mode		Mode I, 1536 carriers	
Carrier Freq Offset	-30000.0	2.7	30000.0 Hz
Bit Rate Offset	-20.0	-0.1	20.0 ppm
MER/EVM (rms)	24.0 *	4.9	---- dB
MER/EVM (peak)	10.0 *	3.7	---- dB
BER before Viterbi		9.5e-2(10/10)	1.0e-2
FIB Errors		0	1 /s
Subchannel parameters (SubChId ---, Type ---)			
BER before RS		Not applicable	2.0e-4
Packet Error Ratio		Not applicable	1.0e-8
Packet Errors		Not applicable	1 /s
MPEG Ts Bitrate		Not applicable	kbit/s
Lvl 12.5dBµV   BER 9.5e-2   MER 4.9dB		DEMOD	FIC
Date: 6.APR.2018 07:39:04			

Abbildung 26: Max. Eingangssignal, innerhalb Garage

Die Empfangsreserve betrug hier lediglich 3 dB. Auch hier konnte der Messempfänger nicht mehr synchronisieren, das Empfangsgerät konnte das Signal aber fehlerfrei wiedergeben (Abbildung 27).

R&S ETL Digital Overview		S/N 100524, FW 3.30	
Ch: --- RF 220.352000 MHz T-DMB/DAB			
* Att 0 dB ExpLvl 25.00 dB $\mu$ V			
<b>MER (rms)</b>		-----	
Ensemble: ---		Date & Time(UTC):---	
Fail	Limit	< Results	< Limit Unit
Level	47.0 *	8.8	117.0 dB $\mu$ V
Sideband		-----	
Transmission Mode		-----	
Carrier Freq Offset	-30000.0	-----	30000.0 Hz
Bit Rate Offset	-20.0	-----	20.0 ppm
MER/EVM (rms)	24.0	-----	----- dB
MER/EVM (peak)	10.0	-----	----- dB
BER before Viterbi		-----	1.0e-2
FIB Errors		-----	1 /s
<b>Subchannel parameters (SubChId ---, Type ---)</b>			
BER before RS		-----	2.0e-4
Packet Error Ratio		-----	1.0e-8
Packet Errors		-----	1 /s
MPEG Ts Bitrate		-----	kbit/s
Lvl 8.8dB $\mu$ V   ---   ---		DEM0D	FIC
Date: 6.APR.2018 07:40:27			

Abbildung 27: Min. Eingangssignal, innerhalb Garage, 3 dB Dämpfung

Die Messung außerhalb ergab einen Minimumpegel von 6,9 dB $\mu$ V wobei innerhalb der Garage, aufgrund des höheren Reflexionsanteils im Nutzsignal, 8,8 dB $\mu$ V nötig waren.

Die Messung der Garage der ORS ergab vor der Garage eine Empfangsreserve von 38 dB, bei einem minimalem Empfangspegel von 6,2 dB $\mu$ V und innerhalb der Garage 5 dB bei einem min. Empfangspegel von 7,5 dB. Die Dämpfung der Garage betrug ca. 34 dB.

Die Messpunkte in den Garagen wurden jeweils in der Nähe der Einfahrtsrampen durchgeführt, da die weiteren Teile der Garagen gänzlich unversorgt waren. Ausgehend von Dämpfungswerten von mindestens 35 dB ist eine Versorgung von Tiefgaragen durch IGL und DCT nicht möglich. Für den Regelbetrieb müsste man bei Bedarf auf zusätzliche Indoor-Lösungen zurückgreifen.

## 7. Bestserver Vergleichsmessung

Unter Bestserver versteht man den Empfang-stärksten Sender im Versorgungsgebiet, in dem mehrere Sender zur Versorgung beitragen.

Im DAB+ Trial in Wien wurden dafür die beiden Sender IGL und DCT im Stadtgebiet gemessen und mit der Simulation aus Chirplus verglichen.

In Abbildung 28 wurden die Messrouten über die Grafik der Simulation projiziert. Die Bereiche der Simulation und der Messung decken sich bis auf kleinere Bereiche sehr gut. Der Hauptfokus bei

dieser Beurteilung liegt an den harten Grenzen vom Versorgungsgebiet DCT und IGL. Hier waren die Übereinstimmungen sehr akkurat.

Die kleineren Differenzen könnten aufgrund der Tatsache herrühren, dass die Berechnung in einer Empfangshöhe von 1,5 m simuliert wurde und die Messung in 3 m Messhöhe stattgefunden hat, wobei es hier durch Antennenposition zu Reflexionsempfang gekommen sein kann, der so aufgrund der Komplexität der HF-Ausbreitung, nicht ganz genau berechnet werden kann.

Als Planungsgrundlage muss aber an den prinzipiellen Rechenmodellen keine Anpassung durchgeführt werden.

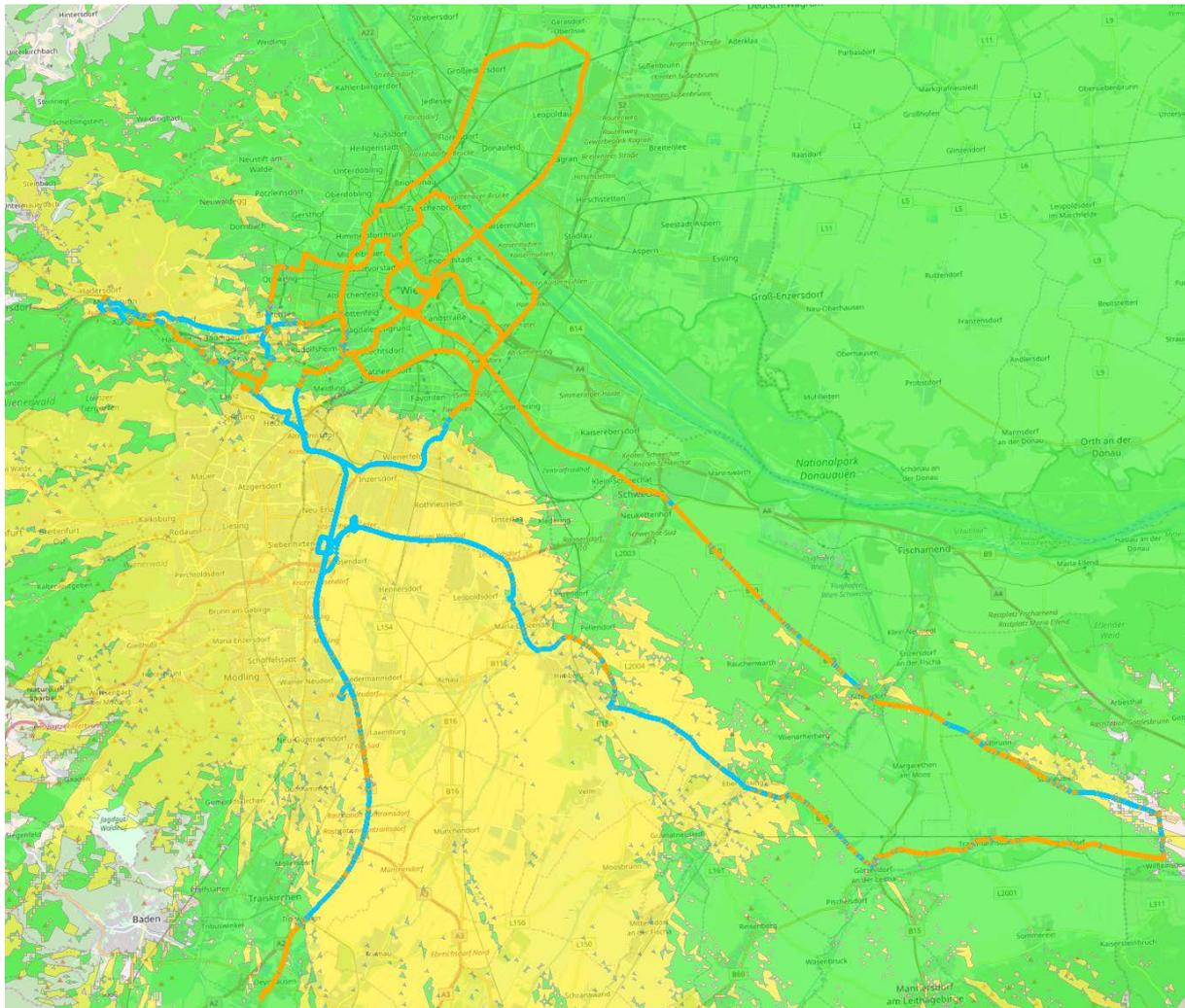


Abbildung 28: Vergleich Messung vs. BestServer Simulation

- Gelb:** Simulation der Versorgung durch IGL
- Grün:** Simulation der Versorgung durch DCT
- Blau:** Gemessene Versorgung durch IGL
- Orange:** Gemessene Versorgung durch DCT

## 8. Überprüfung der Audioqualität bei unterschiedlichen Zuführungskonzepten

Beim DAB Wien Pilotprojekt wurden unterschiedliche Audio-Zuführungskonzepte je nach Kundenwunsch verwendet.

- Signal liegt bereits für andere Verbreitungswege im ORF-Zentrum an.  
In diesem Fall wird der DAB Encoder direkt mit diesem Signal angespeist (meist digital als AES/EBU). Der Encoder befindet sich im DAB Payout im ORF-Zentrum. In all diesen Fällen wurde das Signal bereits mindestens einmal encodiert, da eine unkomprimierte Zuspielung eines Audio-Studiosignals (AES/EBU = 2 Mbit/sek.) aus technischer und vor allem aus finanzieller Sicht nicht sinnvoll erscheint.
- Abnahme des Signals von anderen DVB Verbreitungswegen  
Im Falle von radio klassik wird das Signal vom DVB-C UPC Wien Netz übernommen. Radio klassik stellte für die Decodierung einen nichtkommerziellen Empfänger Typ OR 153 UPC zur Verfügung. Ein Nachteil von diesen Konzept ist neben der schon erfolgten ersten Encodierung, dass diese Art von „Consumergeräten“ keinen professionellen Audioausgang haben, eine Überwachung nicht realisierbar ist, und natürlich nicht für einen 24 Stundenbetrieb ausgelegt sind.



- Zuführung über ein MPLS Netzwerk  
Als beste Lösung hat sich eine einmalige Encodierung, welche bereits beim Kunden durchgeführt wird, ergeben. Verwendet wird das MPLS Netzwerk von A1. Dazu erhält jeder Kunde von A1 einen Router mit einer maximalen Bitrate von 1 Mbit/sek. So ist es möglich, dass sogar mehr als 1 Programm mittels Encoder zum Server gestreamt werden kann. Aktuell waren das z.B. von einem MPLS 1 Mbit Standort 5 Programme (Radio Technikum, MEGA Radio, ARBÖ Verkehrsradio, Sout al Khaleej und ein XMAS Radio). Im ORF Zentrum wurde der MPLS Knoten, welcher 8 Mbit/sek. umfasst, installiert. Nach längeren Tests zu Betriebsbeginn war es möglich, Multicastströme in beide Richtungen zu senden, was besonders für die Implementierung der Datendienste notwendig ist

Da es sich um ein Pilotprojekt handelt, wurde bei der Audiozuführung keinerlei Redundanz geplant. Im Regelbetrieb ist es natürlich notwendig, zwei voneinander unabhängige Zuführungen zu realisieren. Dies könnte z.B. als Hauptweg MPLS sein und als redundanten Weg eine Zuführung über das Internet (Abnahme des Streams vom Internetradio).

Besonders bei niedrigen Bitraten sind mehrere Wandlungen (Encodiervorgänge) zu vermeiden. Beim DAB+ Testprojekt in Wien wurde von den meisten Programmveranstaltern eine Übertragungskapazität von 54 CU verwendet. Dies entspricht einer Audiobitrate von ca. 60 kbit/sek.

Im Zuge des Pilotprojektes (Phase 3) wurde nun geprüft, inwieweit bei diesen Bitraten eine zusätzliche Encodierung die Audioqualität beeinflusst. Als Vergleich könnte die Audioqualität bei nur einem Encodiervorgang gewählt werden. Dies entspricht der Konfiguration Audio-Encoder direkt beim Programmveranstalter und der Zuführung zum Multiplex via MPLS Leitung. Der Multiplexer erhält somit das bereits beim Veranstalter encodierte Signal ohne weitere Wandlung. Dieses Signal wird dann unverändert via DAB+ ausgesendet.

Die Firma connecting : media it & audio- consulting GmbH (<https://www.conmed.net>), welche unter anderen den Programmveranstalter Arabella betreut, erklärte sich bereit verschiedene Audio-Codex dem vorhandenen DAB+ Encoder vorzuschalten, um so eine Zuspielung zwischen Programmveranstalter und Multiplex zu simulieren. Somit wurde ein zusätzlicher Encodiervorgang geschaffen und die Audioqualität konnte durch Änderung von Codex und Bitraten ermittelt werden.

Beim Programm Arabella Rock wurde ein IP-codec Typ 2WCOM MM01 (<http://2wcom.com/mm01/>) mit der Einstellung AAC-LD 128k 48khz Stereo getestet und schrittweise die Bitrate reduziert.

Encoder Configuration	
Encoder A	RTP - E-aptX, Stereo, 48000 Hz, 16 Bit, 384 kBit/s

Bei Radio Melodie wurden folgende Codex installiert und getestet:

**APT AoIP / MPXoIP MULTI-CHANNEL CODEC**

<https://www.worldcastsystems.com/en/c5p3/audio-over-ip-codec/apt-multichannel-codec>

**APT IP CODEC**

<https://www.worldcastsystems.com/en/c5p10/audio-over-ip-codec/apt-ip-codec>

Screenshot der Einstellung während des Tests:

Audio Codec Status					
Encoder	Algorithm	Mode	Sample Freque...	Bandwith	Bit Rate
Encoder	MPEG-4 AAC-LC	Stereo	48kHz	Automatic	192kbps

Im Vorfeld wurden auch Geräte der Hersteller Barix, DEVA Broadcast getestet, die jedoch nicht weiter in Betrachtung gezogen wurden, da wir feststellen mussten, dass diese erhöhte Latenzzeiten im Audiosignal aufgewiesen haben, und daher auch der Einsatz als Redundanzubringung mit diesen Geräten nicht sinnvoll ist. Das bedeutet im Havariefall, sprich der Umschaltung auf die Reservezubringung, ist dies im Audio deutlich hörbar und somit unbrauchbar.

Bei den Tests mussten wir feststellen, dass der Einsatz einer weiteren AAC-HE Codierung im Audioweg möglich ist, jedoch kommt es bei Bitraten unterhalb der doppelten Bitrate des Multiplexers, in unserem Falle 120 kBit, zu hörbaren Qualitätsverlusten.

Somit würden wir empfehlen, wenn eine zusätzliche Audiocodierung für die Zubringung notwendig ist, diese nicht über eine AAC-Codierung (oder Derivate) durchzuführen um Qualitätsverluste zu vermeiden.

In unserem Test haben wir mit dem APT und der APT-X Codierung, bzw. mit dem 2WCOM mit MPEG-Codierung gute Erfahrungen gemacht. Beide Geräte hatten geringe Latenzzeiten, jedoch sollte auf die vom Hersteller empfohlene Bandbreite Rücksicht genommen werden, und optimale Ergebnisse in der Audiozubringung zu realisieren.