

Zwischenbericht für das Projekt „DAB+ Testbetrieb Wien“

I. Einleitung

Ziel des DAB+ Pilotversuchs Wien ist die Erprobung terrestrischer digitaler Übertragungstechniken im Standard DAB+. Der DAB+ Pilotbetrieb im Großraum Wien besteht aus 2 Sendern, die ein Ensemble von 15 Radioprogrammen auf dem Subkanal 11D im VHF Band III im Gleichwellenbetrieb senden. Der Sender am DC Tower sendet mit 7 kW ERP, während der Sender im Industriegebiet Wien Liesing mit 10 kW ERP sendet. Für den Sender in Liesing steht zusätzlich der Subkanal 12B im VHF Band III zur Verfügung, um das Umschalten des DAB+ Ensembles auf einen weiteren Subkanal und somit auch die Bedingungen eines MFN Netzwerks testen zu können.

Das Programm bouquet umfasst 15 Radio Formate von 13 Programmveranstaltern, davon 4 in UKW-Simulcastabstrahlung (LoungeFM, Energy Österreich, radio klassik Stephansdom und Radio Maria). Ein Programmplatz ist nicht nachgefragt.

Programm	Rundfunkveranstalter	Inhalte
Arabella – Rock	Radio Arabella GmbH	Rock
Radio Melodie	Radio Arabella GmbH	Super Oldies, Mega Schlager
Lounge FM	Livetunes Network GmbH	Lounge
ENERGY Österreich	N&C Privatrado Betr. GmbH	Hit Music only
radio klassik Stephansdom	Stiftung Radio Stephansdom	Klassik
Welle 1	Welle Salzburg GmbH & Co. KG	Hits und Infos
now radio	ERF Medien Österreich GmbH	„Get Inspired!“ (Pop & CCM)
ERF Plus Österreich	ERF Medien Österreich GmbH	Glaube & Gesellschaft
HEROLD relax	Herold Business Data GmbH	Soft Rock & Pop
Radio Maria	Verein Radio Maria Österreich	Christliche Spiritualität

MEGA Radio	MEGA Radio Austria	Inforadio
ARBÖ Verkehrsradio	ARBÖ	Verkehrsinformationen
Radio Technikum	RTG Radio Technikum GmbH	Wissenschaft, Bildung, Classic Hits
Radio Allelon	Radio Allelon	Integrationsradio
SoundTraxx Radio	Stevia Communications GmbH	Filmmusik

II. Darstellung der erzielten Resultate bzw. Ergebnisse (Projektnutzen) des geförderten Projekts

1. Planung, Aufbau und Betrieb des DAB+ - Multiplex

a. **Aufgabenstellung:**

- 15-16 DAB+ Programme
- redundanter Multiplex (1+1) – Standort ORF Zentrum, Leitungsendraum
- aus Kostengründen reduzierte Überwachung mittels DAB+ Decoder
- aus Kostengründen keine Redundanzen bei den Sendegeräten
- IP- Zuführung (EDI-Format) zu den beiden Sendern mittels ORS eigenem Richtfunk

b. **Produktwahl:**

Es fand eine Marktumsicht für DAB+ Multiplexer, Encoder und Überwachungssysteme statt. Zum Zeitpunkt Q3 2014 (Besuch IBC Amsterdam) gab es drei Lieferfirmen, nämlich:

- AVT
- Factum
- Radioscape

Im September 2014 wurde bei einer gemeinsamen Presseaussendung bekanntgegeben, dass die Firmen Factum und Radioscape eine neue gemeinsame Eigentümerstruktur haben werden (Fa. VDL). Die Firma VDL wurde im April 2015 an die Firma Digital Broadcast Technologies weiterverkauft.

Während dieser unterschiedlichen Verkaufsprozesse war es unmöglich verbindliche Aussagen über Preise, Lieferzeiten, Garantien und Ansprechpartner zu erhalten. Es wurde daher die deutsche Firma AVT kontaktiert, welche bereits für mehrere ARD Anstalten und Betreiber in weiteren europäischen DAB Netzen Multiplexer und Encoder geliefert hat.

Das Konzept von AVT sieht meist abgesetzte Encoder vor, welche mit einem sogenannten Content Server, welcher für das Multiplexing zuständig ist, betrieben werden. Der Content Server besteht eigentlich aus einem normalen Server mit hoher Rechenleistung auf welchem die DAB Content Server Software des Fraunhofer Institut läuft.

Beschreibung des Content Servers unter:

<http://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/amm/prod/digirundfunk/digirundf/dabdmbcontentserver.html>

Als Lieferant für die Encoder, Content Server und einen Decoder zur Programmüberwachung wurde daher im Q1 2015 die Firma AVT gewählt. Als Encoder wurde von der Fa. AVT eine verkleinerte billigere Version entwickelt (Produkt MAGIC AE1 DAB+Go), welcher abgesetzt beim Programmanbieter installiert werden kann.



Der große Vorteil des abgesetzten Encoders beim Kunden ist, dass das endgültige Encoding bereits bei der Signalquelle stattfindet und kein weiterer Encodingvorgang notwendig ist. Als Content Server wurden 2 Stück HP Server DL380p mit einem INTEL XEON 6-Core Prozessor mit 8GB RAM und 2 x redundante 100GB SSD mit 4 LAN Schnittstellen bestellt.

Auf den beiden Servern läuft die Content Server Software R6 vom Fraunhofer Institut als MAGIC DAB MUX Basic Software. Diese Basis Version umfasst die wichtigsten Anforderungen sowohl für den Betrieb der abgesetzten Encoder, als auch für das gesamte Multiplexing und ebenso für die Steuerung der wichtigsten Datendienste.

Die beiden IP-Ausgänge (EDI-Format) der beiden Server (Main und Backup) werden einem EDI Switch zugeführt, welcher im Störfall eine unterbrechungsfreie Umschaltung garantiert.

Für die Überwachung wird zusätzlich am Ausgang des EDI Switch ein Decoder installiert. So kann man das gesamte Programm-Bouquet kontrollieren, bevor es den Sendern über das ORS Netz zugeführt wird.

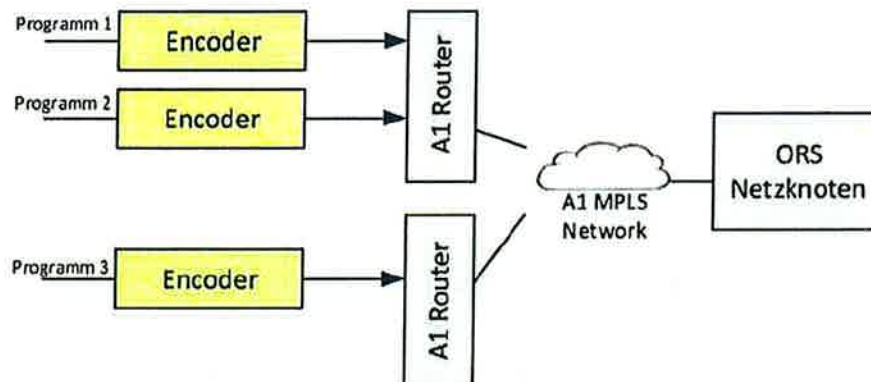
c. Planung der Programzubringung:

Am 29.01.2015 fand ein Workshop mit allen Teilnehmern am DAB+ Pilotprojekt statt. Es wurde dabei das DAB+ System, wie es von der ORS geplant ist, vorgestellt. Ein wichtiger Diskussionspunkt war die notwendige Zubringung des Audiosignals vom Kunden zum Multiplexer. Ein zentraler Aspekt dabei war die Aussage des Fraunhofer Instituts, dass man bei den geplanten, niedrigen Audiobitraten (ca. 60 kbit) nur einen Encoding Prozess durchführen sollte. Mehrere Teilnehmer sprachen von ihren guten Erfahrungen von einem MPLS System namens LIC+.

d. MPLS Netzwerk (Aufbau, Betrieb, Erfahrungen)

Das erwähnte Produkt LIC+ wird nun von A1 Telekom Austria unter dem neuen Namen „A1 MPLS Network Service“ angeboten. Die ORS teilte A1 alle Adressen und Ansprechpartner der Programmanbieter für ein geplantes MPLS Netz mit. Geplant wurde ein MPLS Netz mit 1/1 symmetrisch (UP/DOWN) beim Kunden und 4/8 symmetrisch bei der ORS. Dabei wurde auch

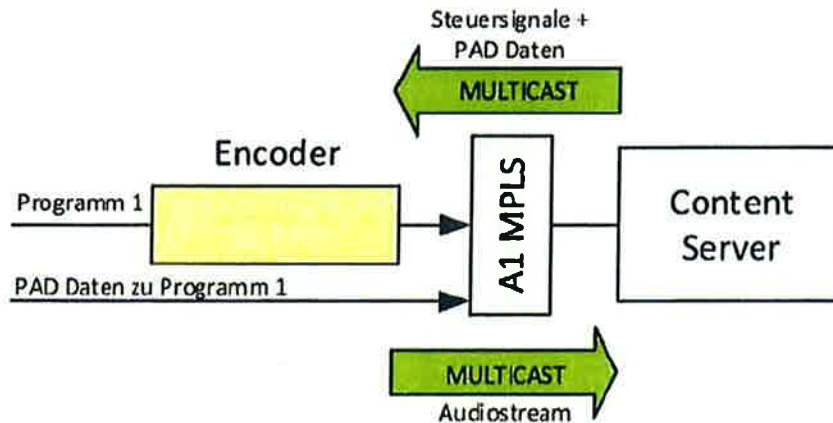
der Umstand berücksichtigt, dass bei manchen Betreibern mehr als ein Programm zur Verfügung gestellt wird.



Maximal können vier Programme direkt an einen Router angebunden werden. Diese Konfiguration wurde auch z.B. am Standort Schottenfeldgasse realisiert (die Programme sind: Radio Technikum, ARBÖ Radio, MEGA Radio und Radio SoundTraxx). Nachdem das MPLS aufgebaut wurde (Mai 2015) wurde kurz vor dem Starttermin am 28.Mai 2015 festgestellt, dass die notwendige Multicastübertragung nur in einer Richtung funktioniert (vom Encoder zum Multiplexer).

Im Normalfall ist eine Multicast- Übertragung zwischen Encoder und Multiplexer in beiden Richtungen notwendig. Da der DAB+-Multiplex bezüglich Multiplexer (Content Server) redundant ausgeführt ist (MAIN und BACKUP) muss der Encoder zu beiden Servern gleichzeitig streamen. Daher ist für den Audiostream ein Multicast vom Encoder zu den beiden Servern notwendig. Zusätzlich erhält der Encoder von den Servern Steuerdaten und alle gewünschten Zusatzdaten (PAD).

Daher ist auch in dieser Richtung ein Multicast notwendig. Die Steuerdaten aktivieren den Encoder damit dieser zu streamen beginnt. Die PAD Daten welche über verschiedene Wege zum Server geschickt werden können, werden von diesen zum Encoder geschickt, welcher diese dann zum Audiostream hinzufügt. In unseren Fall werden die Zusatzdaten falls möglich im MPLS Netz zum Server geschickt und von diesen sofort wieder zurück zum Encoder.



Ein Multicastbetrieb in beide Richtungen zwischen Encoder und Multiplex ist daher eine wichtige Anforderung für ein funktionierendes redundantes DAB+ - Payout.

Um den Testbetrieb mit 28. Mai 2015 starten zu können, wurden vorerst alle Kunden, welche mittels MPLS System angebunden sind über Unicast angebunden. Die Nachteile dieser Konfiguration sind neben der nicht mehr vorhandenen Server Redundanz auch eine niedrigere Datenrate bei der PAD Datenübertragung. In den nächsten Monaten wurde gemeinsam mit A1 Telekom der Grund für dieses Verhalten der Router gesucht. Ebenso konnte auch nicht ausgeschlossen werden, dass vielleicht die LAN Umgebung (LAN Switch bei der ORS, Firewallkonfiguration) für dieses Phänomen verantwortlich ist.

Nach zahlreichen Tests mit IP-Messgeräten wurde am 7. Oktober 2015 von der A1 Telekom ein anderer Typ eines Netzknotens bei der ORS im ORF Zentrum installiert. Durch diese Maßnahme war nun Multicast-Betrieb möglich. Schlussendlich stellte A1 fest, dass ein Softwareupdate beim Netzknoten dieses Problem löst. Es konnte daher wieder der ursprüngliche Netzknoten mit neuer Software eingebaut werden.

Bei weiteren Tests muss noch geklärt werden, warum Services ohne Grund plötzlich nicht mehr im Multicast betrieben werden können. Dies ist vor allem deswegen notwendig, da im Regelbetrieb ein störungsfreier Ablauf gewährleistet sein muss. Ebenso sollte auch eine alternative Zubringung (als Backup) getestet werden (z.B. über freies Internet oder einen Businessanschluss). Die Überwachung des stabilen Betriebs der MPLS Leitungen als auch die alternativen Zubringungen sind in der zweiten Phase des Testbetriebes ab April 2016 eingeplant. Aus heutiger Sicht der ORS ist für einen Regelbetrieb ein zentraler Betrieb der Encodierung sinnvoll. Dies ist auch beiden Betreibern Swissmediacast und Media Broadcast der Fall. Eine hohe Verfügbarkeit lässt sich durch einen dezentralen Encoderbetrieb nicht realisieren.

e. Zusatzdienste:

Informationen parallel zum Programm, welche sofort ohne zusätzliche Datenverbindung zum Programmanbieter gleich am Beginn des Pilotprojektes aufgeschaltet wurden:

Programmtyp PTY: (z.B. Religion, Popmusik, Unterhaltungsmusik usw.) Dieser Typ ist in der DAB Norm genau definiert und kann ausgewählt werden.

- **Senderlogo:**

Der Sender stellt ein Senderlogo mit der Auflösung 320 x 240 Pixel im Jpg oder png Format zur Verfügung. Da die Datenrate für PAD Daten ca. 5-7 kbit/sek. beträgt, ist es notwendig die Bildgröße nicht viel größer als 10-15 kbyte zu wählen.

Das Logo wird zentral im Server abgelegt und ständig als Slideshow (MOT) übertragen.

- **Dynamic Label (Kurztext):**

Fixer statischer Text, welcher neben den Sendenamen fix angezeigt wird.

Bei Arabella Rock lautet der Kurztext z.B.: Wir rocken Wien | www.arabella.at

Bei der Mehrzahl der portablen Empfänger werden nur Sendenamen und dieser Kurztext angezeigt.

- **Journaline:**

Im Herbst 2015 wurde beim ersten Programmanbieter Radio Technikum der Datendienst „Journaline“ als zusätzlicher Datendienst aufgeschaltet. Für die Zubringung der RSS-Daten wurde der Internetzugang für den RSS-Feed freigeschalten und der RSS-Feed im Content Server eingetragen.

Zum Start des Service wurde festgestellt, dass die vorhandenen RSS-Feeds textmäßig erst an das Journaline Format angepasst werden müssen. Viele Texte sind nicht vollständig, da die Anzeigen so programmiert wurden, um sich im Internet weiter zu klicken.

Das Journaline Service für Radio Technikum wurde extra als Datendienst im Packet Mode mit einer Kapazität von 18CU (24 kbit/sek.) gestartet. Grundsätzlich kann man im Packet Mode Datenraten immer um ein Vielfaches von 8kbit/sek. einstellen. Der Test des Journaline Service wurde mit einem Noxon DAB Stick durchgeführt. Das Problem von Journaline derzeit ist, dass es außer NOXON Geräten noch keine Empfänger auf dem Markt gibt, welche dieses Service anzeigen können.

Anschließend wurde Journaline bei Radio Melodie, Arabella Rock und Herold relax aktiviert. Bei diesen Programmen wurde Journaline als Audio-PAD Service Komponente hinzugefügt.

Die gesamte Bitrate für Journaline beträgt 1 kbit/sek. (400 bit/sek. für Index + 600 bit/sek. für Journaline). Diese Bitrate muss natürlich von der gesamten Bitrate (errechnet sich aus gemieteten CU's) abgezogen werden.

- **ORS EPG:**

Für die gemeinsame Anzeige der Senderlogos wurde von der ORS als Datenservice ein EPG aufgeschaltet, welcher alle Logos enthält (10.November 2015). Die dabei verwendete Kapazität beträgt 6 CU (= 8kbit Subchannel Bitrate) was einer Bitrate von 7.3 kbit/sek. entspricht. Diese 6CU und damit ein 8kbit/sek. Subchannel Bitrate ist die niedrigst mögliche Einstellung bei einem Fehlerschutz von EEP 3-A.

Für diese Applikation muss ein genau definiertes xml-File erstellt werden. Diese Arbeit wurde freundlicherweise vom Fraunhofer Institut unentgeltlich für das Pilotprojekt durchgeführt.

Hier ein Auszug:

```
<serviceID id="e0.a501.ad0b.0"/>
<epg:shortName xml:lang="de">ARBÖ</epg:shortName>
<epg:mediumName xml:lang="de">ARBÖ-Radio</epg:mediumName>
<epg:longName xml:lang="de">ARBÖ-Radio</epg:longName>
<mediaDescription>
  <epg:multimedia url="img/AD0B_ARB%C3%96_128.png"/>
</mediaDescription>
<mediaDescription>
  <epg:multimedia url="img/AD0B_ARB%C3%96_neu.png"/>
</mediaDescription>
<mediaDescription>
  <epg:multimedia url="img/AD0B_ARB%C3%96_ARB%C3%96-Radio_ARB%C3%96-Radio_112.png"/>
</mediaDescription>
<mediaDescription>
  <epg:multimedia url="img/AD0B_ARB%C3%96_32x32.png"/>
</mediaDescription>
```

Zusätzlich zum xml-File werden die Senderlogos im Content Server in folgenden Formaten hinterlegt:

320 x 240
128 x 128
32 x 32

Die Logos sollten < 10 kbyte sein. Da die ORS für die Logodarstellung das Format 320 x 240 einsetzt, wurden die Logos für die anderen Auflösungen einfach reduziert. Somit stimmt das Größenverhältnis bei den meisten Logos nicht. Bei einem Regelbetrieb müssen daher die Logos in allen Auflösungen mit den richtigen Größenverhältnissen vorhanden sein.



Radio Allelon

Religion, Ensemble: DAB WIEN, Österreich (DAB-)



radio klassik

Ernste klassische Musik, Ensemble: DAB WIEN, Österreich (DAB+)



Radio Maria

Religion, Ensemble: DAB WIEN, Österreich (DAB-)



Radio Melodie

Musik des Landes, Ensemble: DAB WIEN, Österreich (DAB-)



Radio SoundTraxx

Popmusik, Ensemble: DAB WIEN, Österreich (DAB+)



Radio Technikum

Popmusik, Ensemble: DAB WIEN, Österreich (DAB+)



WELLE 1 DIGITAL

Popmusik, Ensemble: DAB WIEN, Österreich (DAB+)

Diese Anzeige konnten wir derzeit nur mit dem Multmediaplayer (Software Fraunhofer Institut) darstellen. Leider gibt es für diese Anwendung wie auch bei Journaline nur sehr wenige Geräte, welche dieses Service darstellen können (Autoradios von Kenwood und Grundig).

- **DYNAMIC LABEL / DYNAMIC LABEL +**

Ein weiteres wichtiges Features ist neben der Abstrahlung eines fixen Standardtextes auch noch weitere Zusatzinformationen zu übertragen. Vor allem Titel und Interpret sollten realisiert werden.

Da von den 15 Programmanbietern 13 mittels MPLS Netzwerks mit der ORS verbunden sind, wurde eine einfache Lösung gesucht, welche in Realtime diese Informationen zum Content Server sendet.

Mit der Content Server Software liefert das Fraunhofer Institut auch weitere zusätzliche Programme gratis zum downloaden vom Server, mit welcher man relativ leicht diese dynamischen Daten übertragen kann. Es handelt sich dabei um zwei exe-Files , welche als Command Zeilen Programme fungieren.

- Sendlabel+ (für Text als Dynamic Label)
- Sendimage+ (für Bilder z.B. CD-Cover)

Diese beiden Files wurden den Programmanbietern zu Verfügung gestellt. Als Datenverbindung vom Anbieter zur ORS wird das MPLS Netzwerk verwendet. Bei radio klassik geschieht die Zuführung über das offene Internet.

- **Sendlabel+**

Gestartet wird sendlabel+ als Kommandozeilen Programm. Eine genau definierte Eingabe ermöglicht, schnell die Daten zum Server zu schicken.

Beispiel:

```

Auswählen C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Alle Rechte vorbehalten.
C:\Users\knorr>cd..
C:\Users>cd..
C:\>D:
D:\>"Sendlabel+.exe"
Sendlabel+: send a dynamic label / text message to the ContentServer
Version:1.4.0 (23573)
(C) 1999-2012 Fraunhofer IIS, Erlangen, Germany

Sendlabel+ <CS ip[:port]> <provider[:pass]> [-v] [-u] -l "<label>"
          <CS ip[:port]> <provider[:pass]> [-v] [-u] -f <label file>
          <CS ip[:port]> <provider[:pass]> [-v] [-u] -p<params> <label file>

Options:
  <CS ip>      IP address or host name of the ContentServer
  <provider>   the content provider of the label
  -v          verbose output
  -u          label is encoded in UTF-8 (ISO 10646); default is ISO latin1 (IS
0 8859-1)
  <label>     the dynamic label / text message itself
  <label file> file name of the text message
  -p<params> poll parameters <poll interval>:<retry interval>
              (all times in seconds)
              poll interval: interval between two tests for new/changed file,
              retry interval: interval between reading the file and returning
              the file; used to verify that the file has not changed

Examples:
Sendlabel+ 192.168.200.11:11000 dynlabel:passwd -l "Hello World"
Sendlabel+ 192.168.200.11:11000 dynlabel:passwd -f dlfile.txt
Sendlabel+ 192.168.200.11:11000 dynlabel:passwd -v -u -p10:2 dlfile.txt
Sendlabel+ 192.168.200.11:11000 dynlabel:passwd -v -u -p10:2 dlfile.txt

<label> examples:
* "Hello World!"
* "This is a longer label with some more or less useful information."
* "Welcome to <stationname.long>Hello World!</stationname.long> Radio."
* "You are listening to <item.title>a great song</item.title> from <item.artis
t>some artist</item.artist>."
* "For further information please visit <programme.homepage>http://helloworld-
radio.example</programme.homepage>
or write an e-mail to <email.hotline>hotline@helloworld-radio.example</email.hot
line>"

D:\>

```

Beim Programmieren des Content Server für die Zuführung als Realtime TCP/IP erhält man für den gewählten Programmanbieter folgende notwendige Daten:

- Provider Login
- Passwort
- IP-Port

Es müssen noch IP-Adresse des PC angegeben werden, von welchem die Daten ausgespielt werden und natürlich auch die IP Adresse des Zielsevers (Content Server).

Man braucht dann nur im Feld „<label>“ Titel und Interpret einfügen und die Daten zum Content Server zu senden. Diese werden dann sofort angezeigt. Somit kann man mit sendlabel+ schnell und vor allem gratis Titel und Interpret oder andere Texte realisieren.

Die Software sendlabel+ wird derzeit von jenen Programmanbietern benützt, welche dynamische Daten senden wollen.

Bei Dynamic Label gibt es auch eine Version Dynamic Label+ . Es handelt sich dabei um eine kategorisierte Darstellung der Daten, welche übertragen werden. So werden bei Geräten welche DL+ unterstützen die Daten schon in das richtige Feld eingesetzt.

DL+ Programm-Infos



Stück

Titel Vayamos Companeros
Künstler Marquess

Info

Wetter Sie hören: Das aktuelle Wetter für Wien und Umgebung auf Radio Technikum.
Url <http://www.radiotechnikum.at>

Programm

Jetzt Jetzt: Radio Technikum@WORK. Pop&Rock Nonstop bei der Arbeit. Musikwünsche: 01 234 24 24

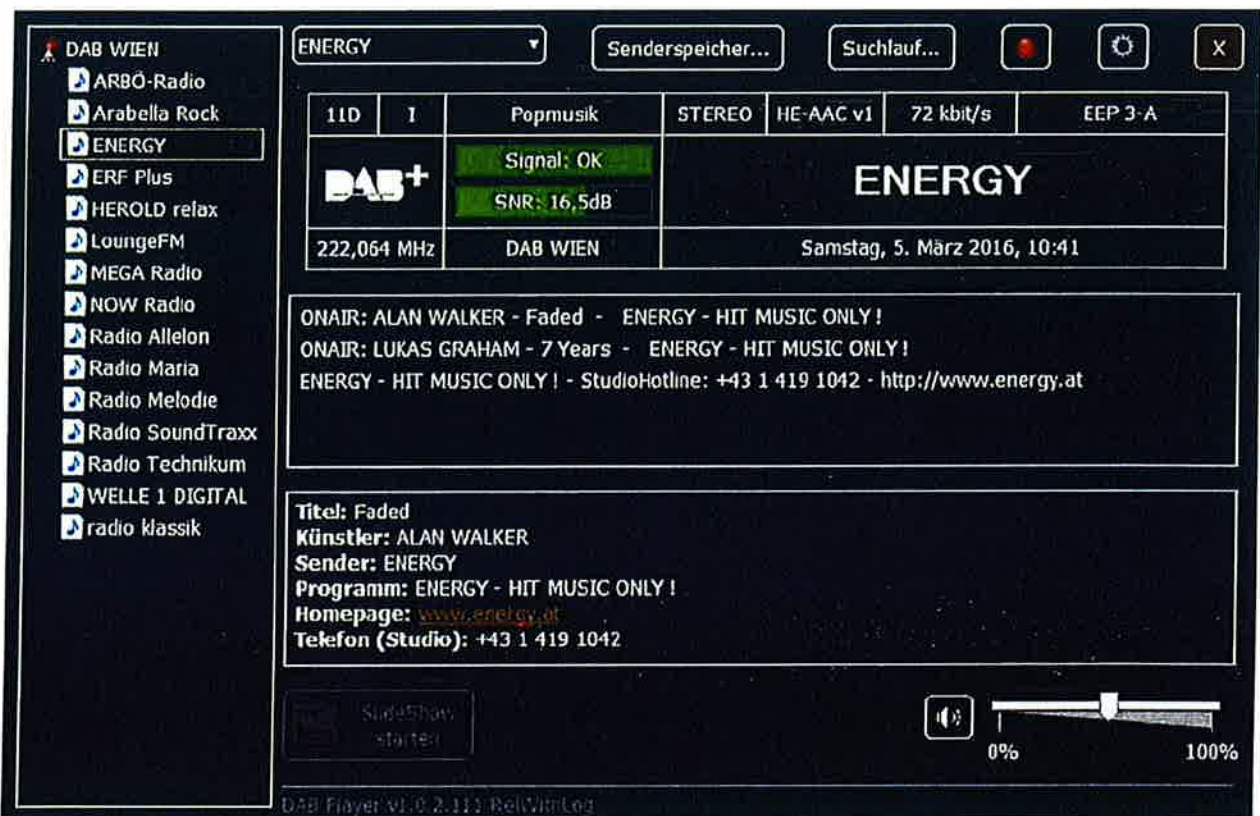
Interaktivität

Telefon (Hotline) Hotline: 01 234 24 24
Telefon (Studio) Musikwünsche: 01 234 24 24

Audio Konfiguration

Bitrate 96.0 kBit/s
Modus Stereo
Codec MPEG-4 AAC-LC (DAB+)

Darstellung mit NOXON DAB Stick und Fraunhofer-Software



The screenshot shows the DAB Player software interface. On the left is a station list with 'ENERGY' selected. The main display area shows the following information:

11D	I	Popmusik	STEREO	HE-AAC v1	72 kbit/s	EEP 3-A
DAB+		Signal: OK	ENERGY			
		SNR: 16,5dB				
222,064 MHz		DAB WIEN	Samstag, 5. März 2016, 10:41			

Below the table, the ONAIR text reads: "ONAIR: ALAN WALKER - Faded - ENERGY - HIT MUSIC ONLY !
ONAIR: LUKAS GRAHAM - 7 Years - ENERGY - HIT MUSIC ONLY !
ENERGY - HIT MUSIC ONLY ! - StudioHotline: +43 1 419 1042 - <http://www.energy.at>"

The current track information is: "Titel: Faded
Künstler: ALAN WALKER
Sender: ENERGY
Programm: ENERGY - HIT MUSIC ONLY !
Homepage: www.energy.at
Telefon (Studio): +43 1 419 1042"

At the bottom, there is a volume control slider set to 0% and a "DAB Player V1.0 2.113 BelWimLed" footer.

Darstellung mit NOXON DAB Stick mit DAB Player Software von Andreas Gslinn (Freeware)

• **MOT**

Neben der Ausstrahlung des Sendelogos wurden von mehreren Programmanbietern mit Hilfe des Programms sendimage+ auch schon die Übertragung von CD Covern oder anderen Bildern realisiert.

Ein wichtiger Punkt um eine genaue Einblendung zum richtigen Zeitpunkt zu realisieren ist die Übertragungsgeschwindigkeit und die Größe des Bildes. Normalerweise verwendet man

ca. 10% der vorhandenen Bitrate für PAD Daten. Bei 54CU (entspricht bei einem Fehlerschutz EEP 3-A einer Nettobitrate von 66 kbit/sek.) werden ca. 7 kbit für PAD Daten benützt. Wählt man z.B. ein Bild mit einer Größe von 14 kbyte/sek. benötigt das Laden des Bildes 16 Sekunden (1 byte = 8 bit). Man sollte daher das Bild 16 Sekunden vor Starten des Liedes losschicken, damit es zum richtigen Zeitpunkt angezeigt wird. Auch die definierte Größe des Bildes 320 x 240 pixel ist wichtig, damit dieses richtig am Display angezeigt wird. Es kann daher notwendig sein, das Plattencover vorher auf die richtige Größe zu berechnen.

Der Programmanbieter „ENERGY“ hat mit Hilfe von sendlabel+ und sendimage+ ein Programm geschrieben, welches automatisch alle diese Prozeduren abarbeitet.



Quelle Energy mit Erlaubnis Hr. Szokoll

f. Bitratenmanagement

Pro DAB+ Multiplex stehen 864 CU zu Verfügung. Der Grund warum man mit CU rechnet und nicht, so wie bei DVB, mit einer Bitrate, ist, dass die Programme einzeln mit einem unterschiedlichen Fehlerschutz versehen werden könnten. Bei DVB werden alle Programme immer nur mit einem fixen vordefinierten Fehlerschutz versehen. Bei DAB+ gibt es 4 unterschiedliche Fehlerschutzklassen:

(EEP 1-A bis EEP4-A).

EEP = Equal Error Protection

EEP 1-A höchster Fehlerschutz
 EEP 4-A niedrigster Fehlerschutz

Bei den meisten DAB+ Multiplexen in Europe wird der mittlere Fehlerschutz EEP 3-A benützt.
 Dieser Fehlerschutz wird auch beim Pilotprojekt in Wien verwendet.

FEC code set	A		B	
Sub.channels	n x 8 kbps		n x 32 kbps	
	Code rate	Ensemble capacity (Mbps)	Code rate	Ensemble capacity (Mbps)
EEP-1	1/4	0.576	4/9	1.024
EEP-2	3/8	0.864	4/7	1.316
EEP-3	1/2	1.152	2/3	1.536
EEP-4	3/4	1.728	4/5	1.843

Bei EEP-3A ergibt sich eine Nettodatenrate von 1.152 Mbit/sek.
 Diese teilt sich auf 864 CU auf. Somit hat 1 CU = 1.3 kbit/sek. bei EEP-3A.

Datenraten für EEP 3-A

CU (Capacity Units)	Subchannel Bitrate (kbit/sek.)	Nettobitrate (kbit/sek.)
12	16	14.6
18	24	22.0
24	32	29.3
30	40	36.6
36	48	44.0
42	56	51.3
48	64	58.6
54	72	66.0
60	80	73.3
66	88	80.6
72	96	88.0
78	104	95.3
84	112	102.6
90	120	110.0
96	128	117.3
102	136	124.6

Beispiel für 54 CU:

Subchannel Bitrate: 72 kbps
 Protection level: EEP 3-A (54 CUs)
 Available Net Bitrate: **66000 bps**

o: live source or playlist) -----

Audio Codec: DAB+ (HE-AAC v2) MPEG Audio Layer
 Audio Bitrate (net): **58933 bps (gross PAD bitrate: 7067 bps)**
 DAC Sampling Rate: 48 kHz 32 kHz
 Audio Mode: stereo mono
 SBR: disabled enabled

EEP 3-A entspricht einer Coderate von $\frac{1}{2}$ (0.5)
 54CU entspricht einer Subchannel Bitrate mit 72 kbit/sek. (EEP 3-A).
 Zum Audio wird noch ein weiterer Fehlerschutz (Reed Solomon RS (120,110) hinzugefügt.
 Die Netto-Bitrate ist daher $72 * (110/120) = 66$ kbit/sek.
 Somit steht eine Netto-Bitrate von 66 kbit/sek. zur Verfügung.
 Im Beispiel wurden für DL+ (Titel und Interpret) 600 bit/sek. eingestellt.
 Für MOT Real Time Slideshow 5400 bit/sek.
 Daraus ergeben sich als Audiobitrate 58933 bit/sek.

a. Messtechnische Untersuchungen zum DAB+ Trial im Großraum Wien

i. **Einleitung**

In DAB+ Systemen stehen 864 Capacity Units (CUs) für den Transport der Audiodaten und Datenströme eines Ensembles zur Verfügung. Der innere Fehlerschutz basiert auf einer Equal Error Protection (EEP), die 4 Protection Levels definiert, wobei Protection Level 1 der stärkste Fehlerschutz und Protection Level 4 der schwächste Fehler-schutz ist. Der zusätzliche äußere Fehlerschutz erfolgt auf Basis eines Reed Solomon Codes [BMT].

Es gibt zwei mögliche EEP Optionen, die mit EEP-A und EEP-B bezeichnet werden. Im Wiener DAB+ Trial wird die in der Praxis bevorzugte Option A eingesetzt. Die vier verschiedenen Protection Levels werden mit EEP-1A, EEP-2A, EEP-3A, EEP-4A bezeichnet. Bei der EEP Option A sind die Nutzdatenraten der im DAB+ Ensemble enthaltenen Subchannels ein ganzzahliges Vielfaches von 8 kbit/s. Daher können wir für die Nutzdatenrate eines einzelnen Subchannels $8 \times n$ kbit/s schreiben, woraus die natürliche Zahl n berechnet werden kann. Tabelle 1 zeigt für einen einzelnen DAB+ Subchannel unter Verwendung von n die Datenraten und die Anzahl der benötigten CUs für die EEP Option A [BMT].

	Datenraten			CUs		
	Nutzdaten (kbit/s)	Fehlerschutz z (kbit/s)	Subchannel (kbit/s)	Nutzdaten	Fehlerschutz z	Subchannel
EEP-1A	$8 \times n$	$24 \times n$	$32 \times n$	$3 \times n$	$9 \times n$	$12 \times n$
EEP-2A	$8 \times n$	$40 \times n / 3$	$64 \times n / 3$	$3 \times n$	$5 \times n$	$8 \times n$
EEP-3A	$8 \times n$	$8 \times n$	$16 \times n$	$3 \times n$	$3 \times n$	$6 \times n$
EEP-4A	$8 \times n$	$8 \times n / 3$	$32 \times n / 3$	$3 \times n$	$1 \times n$	$4 \times n$

Tabelle 1: Datenraten und CUs pro Subchannel für die EEP Option A

Tabelle 2 zeigt die Coderaten für die EEP Option A [BMT].

Protection Level	EEP-1A	EEP-2A	EEP-3A	EEP-4A
Code Raten	1/4	3/8	1/2	3/4

Tabelle 2: Coderaten für die EEP Option A

Tabelle 3 zeigt einige sich aus der Tabelle 1 ergebenden expliziten Werte für die Datenraten und CUs pro DAB+ Subchannel für den Protection Level EEP-2A.

N	Datenraten			CUs		
	Nutzdaten (kbit/s)	Fehlerschutz z (kbit/s)	Subchannel (kbit/s)	Nutzdaten	Fehlerschutz z	Subchannel
5	40	66,67	106,67	15	25	40
7	56	93,33	149,33	21	35	56
9	72	120	192	27	45	72
12	96	160	256	36	60	96

Tabelle 3: Datenraten und CUs für den Protection Level EEP-2A

Wie Tabelle 3 zeigt, entspricht eine Subchannel CU bei Anwendung des Protection Levels EEP-2A einer Nutzdatenrate von 1 kbit/s.

Tabelle 4 zeigt einige sich aus der Tabelle 1 ergebenden expliziten Werte für die Datenraten und CUs pro DAB+ Subchannel für den Protection Level EEP-3A.

n	Datenraten			CUs		
	Nutzdaten (kbit/s)	Fehlerschutz (kbit/s)	Subchannel (kbit/s)	Nutzdaten	Fehlerschutz	Subchannel
5	40	40	80	15	15	30
7	56	56	112	21	21	42
9	72	72	144	27	27	54
12	96	96	192	36	36	72

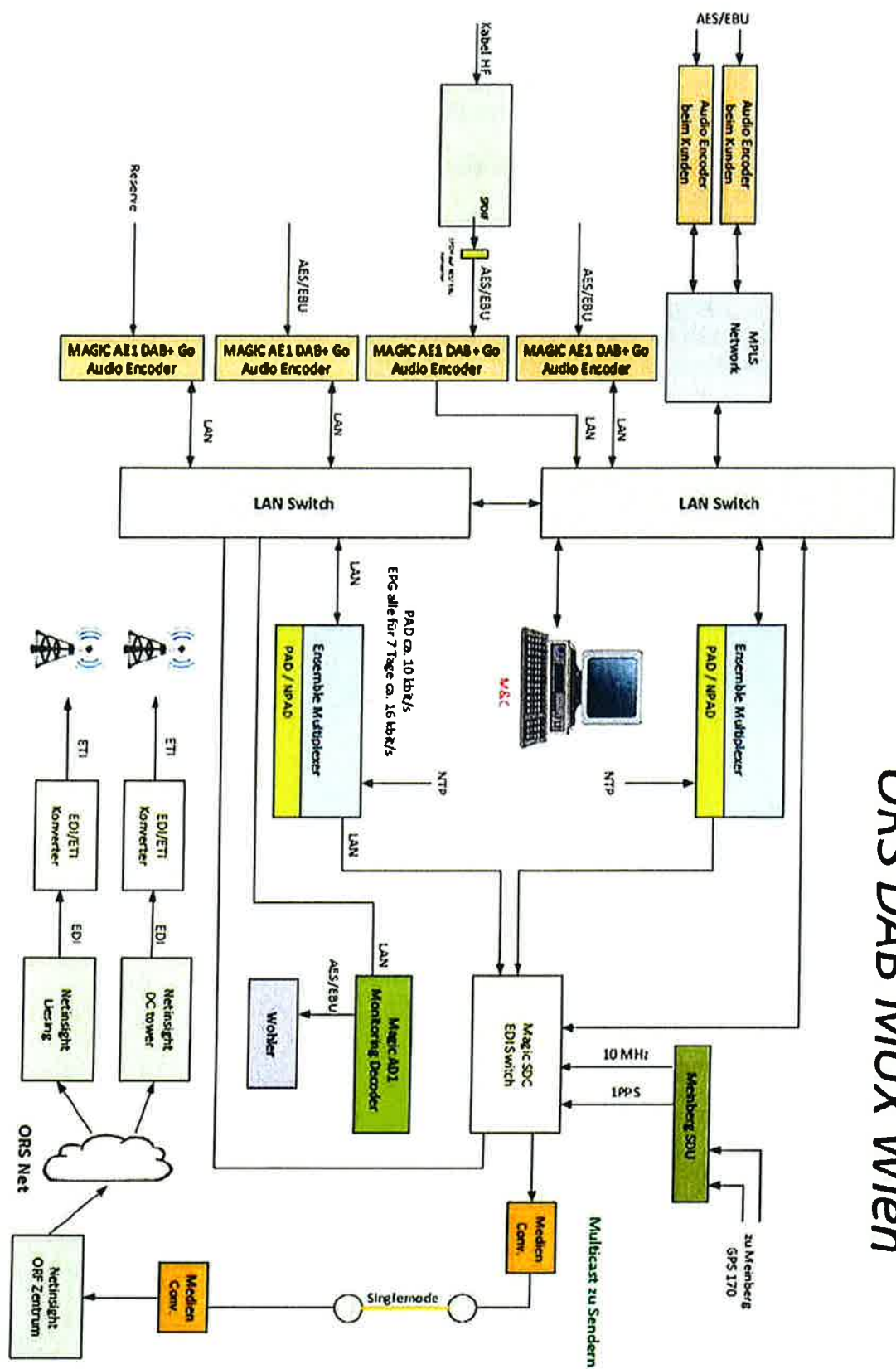
Tabelle 4: Datenraten und CUs für den Protection Level EEP-3A

Wie Tabelle 4 zeigt, entspricht eine Subchannel CU bei Anwendung des Protection Levels EEP-3A einer Nutzdatenrate von 1,33 kbit/s.

Wie die Tabellen 3 und 4 zeigen, werden bei einer Nutzdatenrate von 72 kbit/s beim Umschalten vom schwächeren Protection Level EEP-3A zum stärkeren Protection Level EEP-2A insgesamt $72 - 54 = 18$ Subchannel CUs zusätzlich benötigt. Dies entspricht einer zusätzlich benötigten Subchannel Datenrate von $192 \text{ kbit/s} - 144 \text{ kbit/s} = 48 \text{ kbit/s}$.

Das Blockschaltbild des von der Firma ORS für den Wiener DAB+ Pilotbetriebes verwendeten MUX ist in der Abb. 1 dargestellt.

Der DAB+ Trial im Großraum Wien besteht aus 2 Sendern, die ein Ensemble von 15 Radioprogrammen auf dem Subkanal 11D im VHF Band III im Gleichwellenbetrieb senden. Der Sender am DC Tower (DCT) sendet mit 7 kW ERP, während der Sender im Industriegebiet Wien Liesing (IGL) mit 10 kW ERP sendet. Für den IGL Sender steht zusätzlich der Subkanal 12B im VHF Band III zur Verfügung, um das Umschalten des DAB+ Ensembles auf einen weiteren Subkanal testen zu können.



ORS DAB MUX Wien

Abb. 1: ORS DAB MUX Wien

© Österreichische Rundfunksender GmbH & Co KG

Das Ziel der messtechnischen Untersuchungen ist die Bewertung der Empfangsqualität des DAB+ Signales unter verschiedenen Empfangsbedingungen. Das für die Messung der Empfangsqualität des DAB+ Signales benötigte technische Equipment, Insbesondere die Messgeräte und Messempfänger, wurde von der Firma ORS, der FH Technikum Wien, der Firma Rohde & Schwarz und dem Ingenieurbüro Mulka zur Verfügung gestellt.

ii. Messpunkte

Es wurden Messungen an verschiedenen Standorten im Großraum Wien durchgeführt. Die einzelnen Messpunkte befinden sich am Kahlenberg (MP 1), am Bisamberg (MP 2), am Laaer Berg (MP 3), in Rauchenwarth (MP 4), in Bad Deutsch Altenburg (MP 5), an der A2 Abfahrt B17 in Richtung Graz (MP 6), in Mollram (MP 7), in Grafenbach (MP 8), in Maria Schutz (MP 9), in Pötttsching (MP 10), in Mattersburg Nord (MP 11), bei der Burg Forchtenstein (MP 12), in Rohrbach (MP 13), in Sigleß (MP 14) und in Müllendorf (MP 15). Die Messpunkte sind in der Abbildung 2 dargestellt.



Abb. 2: Messpunkte

iii. Messaufbau und Messgeräte

Die von der Firma ORS zur Verfügung gestellte Messantenne ist eine USLP 9143 B logarithmisch periodische Antenne der Firma Schwarzbeck Messelektronik [SM]. Die technischen Daten zu dieser Antenne sind im Datenblatt [AN] veröffentlicht. Die

Messantenne ist über ein 10 Meter langes Antennenkabel der Type Microwave SHF 50 D mit einem variabel einstellbaren Dämpfungsglied (RF Attenuator) der Type Broadwave Model 752-005-080 [DG] verbunden. Die technischen Daten zu diesem Dämpfungsglied sind im Datenblatt [DG] veröffentlicht. Das Dämpfungsglied ist über ein Kabel der Type Sucoflex 104A über eine Impedanzanpassung mit einem 3-fach Verteiler der Type DM 03 A [DM] der Firma WISI [WI] verbunden. Die Verteildämpfung des für den Frequenzbereich von 5 bis 1000 MHz dimensionierten 3-fach Verteilers beträgt 6 dB [DM]. Der 3-fach Verteiler verzweigt das RF Signal zu einem Referenzmessempfänger sowie zu zwei weiteren Messempfängern unter Verwendung von Kabeln der Type LCD 111 [LCD] der Firma Kathrein [KA]. Als Referenzmessempfänger wurde uns von der Firma Rohde & Schwarz [RS] ein ETL TV Analyzer [ETL] mit integrierter T-DMB/DAB Option zur Verfügung gestellt. Diese wird durch den DAB-XPlorer des Ingenieurbüros Mulka [IM] zu einem DAB+ Messempfänger erweitert. Es wurden insgesamt 3 weitere Messempfänger von der Firma ORS und von der FH Technikum Wien für die Durchführung der Messungen zur Verfügung gestellt, deren Typenbezeichnungen in diesem Bericht durch ME1, ME2 und ME3 anonymisiert werden. Der Messaufbau ist in der Abbildung 3 dargestellt.

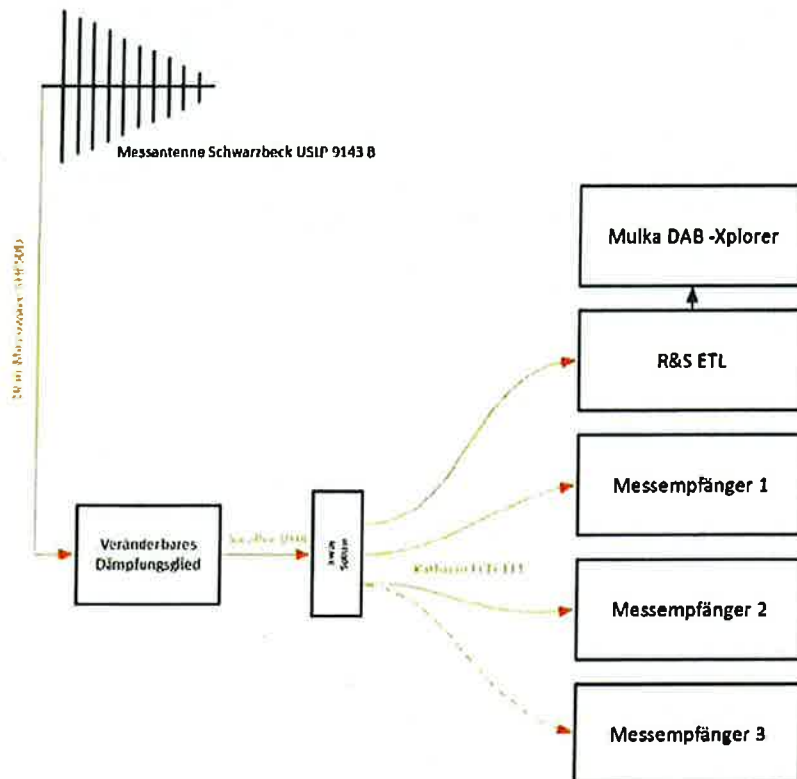


Abb. 3: Messaufbau

iv. **Empfangsbedingungen**

Die verschiedenen Empfangsbedingungen wurden wie folgt simuliert:

- Durchführung der Messungen an verschiedenen Standorten im Großraum Wien
- Einzelbetrieb der Sender
- Gleichwellenbetrieb beider Sender
- Ausrichtung der Empfangsantenne jeweils in Richtung eines der beiden Sender

- Ausrichtung der Empfangsantenne in Richtung von ausgewählten Reflexionen

v. Messparameter

Zur Bewertung der Empfangsqualität des DAB+ Signales wurden die folgenden Messparameter des DAB+ Signals unter verschiedenen Empfangsbedingungen gemessen und ausgewertet:

- Empfangspegel
- Empfangsfeldstärke
- Carrier-to-Noise Ratio (C/N)
- Modulation Error Rate (MER)
- Bit Error Rate (BER) vor und nach dem äußeren Fehlerschutz

Der Empfangspegel, die C/N, die MER und die BER vor dem äußeren Fehlerschutz wurden unter Verwendung des ETL TV Analyzers mit integrierter T-DMB/DAB Option [ETL] der Firma Rohde & Schwarz [RS] gemessen. Die BER nach dem äußeren Fehlerschutz wurde unter Verwendung des DAB-XPlorer des Ingenieurbüros Mulka [IM] gemessen.

Die C/N Messung erlaubt insbesondere eine Bewertung der Empfangsrobustheit des DAB+ Signals gegenüber Störungen. Dabei wurde der notwendige Mindestwert des C/N gemessen, bei dem das DAB+ Signal vom jeweils betrachteten Messempfänger gerade noch verarbeitet werden konnte.

vi. Messablauf

Die Messungen wurden stationär mit einem von der Firma ORS zur Verfügung gestellten Funkmesswagen mit ausfahrbarem Antennenmasten durchgeführt. Als Antennenhöhe wurde die in der Funknetzplanung übliche Referenzhöhe von 10 m gewählt und mittels dem ausfahrbaren Antennenmasten exakt eingestellt. Bei jedem Messdurchgang wurde der am jeweiligen Messpunkt verfügbare Empfangspegel gemessen.

Es wurden auch Dämpfungsmessungen unter Verwendung des Dämpfungsgliedes der Type Broadwave Model 752-005-080 der Firma WISI durchgeführt. Dabei wurde das von der Antenne empfangene Signal durch ein Dämpfungsglied soweit abgeschwächt, sodass der jeweils betrachtete Messempfänger das Signal gerade noch bei diesem minimalen Eingangspegel verarbeiten konnte.

Die im vorhergehenden Abschnitt vorgestellten Messparameter wurden sowohl bei diesem minimalen Eingangspegel sowie auch bei dem am Messpunkt maximal verfügbaren Eingangspegel gemessen und miteinander verglichen.

Durch die Messung des minimal benötigten Eingangspegels kann insbesondere die Empfindlichkeit der unterschiedlichen Messempfänger miteinander verglichen werden.

Die Messung der im vorhergehenden Abschnitt vorgestellten Messparameter wurde auch bei verschiedenen EEP Protection Levels durchgeführt, um den Einfluss des auf der Senderseite einstellbaren inneren Fehlerschutzes auf die Empfangsqualität des DAB+ Signales bewerten zu können.

vii. Messergebnisse

In diesem Abschnitt werden die an ausgewählten Messpunkten erzielten Messergebnisse und daraus abgeleitete weitere Untersuchungen vorgestellt.

Die Messpunkte MP1 (Kahlenberg), MP2 (Bisamberg), MP3 (Laaer Berg) und MP4 (Rauchenwarth) befinden sich im Übertragungsbereich der beiden Sender am DC Tower und im Industriegebiet Liesing. Aufgrund der hohen Empfangsfeldstärke war das DAB+ Ensemble sogar bei einer am Dämpfungsglied maximal eingestellten Dämpfung von 89 dB bei der Berücksichtigung einer Systemdämpfung von 7,7 dB an den Messempfängern noch immer perfekt empfangbar.

Am Messpunkt MP3 (Laaer Berg) wurde insbesondere der Einfluss des EEP Fehlerschutzes untersucht. Es wurde für das Programm ARBÖ der schwächere Fehlerschutz EEP-3A auf den stärkeren Fehlerschutz EEP-2A umgestellt. Bei der Dämpfungsmessung konnte beim Einsatz von EEP-2A das DAB+ Signal unter Verwendung des Dämpfungsgliedes um 1 dB stärker gedämpft werden, bevor es zur Signalaussetzung an allen eingesetzten Messempfänger kam.

Detaillierte Untersuchung des Fehlerschutzes

Das Ergebnis über die Auswirkung des Fehlerschutzes auf die Empfangbarkeit am Messpunkt MP3 gab den Anlass eine genauere Analyse in einem weiteren Laboraufbau durchzuführen, um den Zusammenhang zwischen Fehlerschutz und minimal benötigtem Eingangsspiegel für die Empfänger auszuarbeiten. Dabei wurden die Testempfänger an einen DAB+ Signalgenerator kabelgebunden betrieben. Im Signalgenerator wurden die einzelnen Fehlerschutzmodi eingestellt. Es hat sich gezeigt, dass bei Verwendung des Fehlerschutzes EEP-3A in Bezug auf den geringsten Fehlerschutz EEP-4A die Empfänger das DAB+ Signal mit bis zu 2,5 dB weniger Empfangsspiegel verarbeiten konnten. Bei Verwendung des nächst stärkeren Fehlerschutzes EEP-2A konnten bis zu 4,5 dB Unterschied erzielt werden. Der stärkste Fehlerschutz EEP-1A wurde aufgrund des zu hohen Datenratenbedarfs (siehe Tabelle 1) nicht mehr getestet, da dieser in der Praxis keine Anwendung finden wird.

Es folgt ein Vergleich der benötigten Datenrate bei unterschiedlichem Fehlerschutz und gleichbleibender Datenrate der Nutzdaten:

Fehlerschutz	Datenraten			CUs		
	Nutzdaten (kbit/s)	Fehlerschutz (kbit/s)	Subchannel (kbit/s)	Nutzdaten	Fehlerschutz	Subchannel
EEP-4A	72	24	96	27	9	36
EEP-3A	72	72	144	27	27	54
EEP-2A	72	120	192	27	45	72
EEP-1A	72	216	288	27	81	108

Tabelle 1: Datenraten und CUs bei einer Nutzdatenrate von 72 kbit/s

Da der Effekt des Fehlerschutzes so deutlich ausfällt, sollte unter Berücksichtigung des kaufmännischen Aspekts hinsichtlich der Reduktion der Datenrate, der höchstmögliche Fehlerschutz verwendet werden.

Prinzipiell ist es möglich ein Ensemble mit unterschiedlich fehlercodierten Subchannels zu betreiben.

Optimierung des Ausbreitungsmodells als Basis für die Netzplanung

An allen Messpunkten wurde, wie bereits beschrieben, der minimale Eingangspegel für unterschiedliche DAB+ Empfänger ermittelt. Abbildung 8 zeigt das verrauschte Konstellationsdiagramm bei minimalem Eingangspegel am Messempfänger ME1. Beim minimalen Eingangspegel kann der Messempfänger das DAB+ Signal gerade noch verarbeiten.

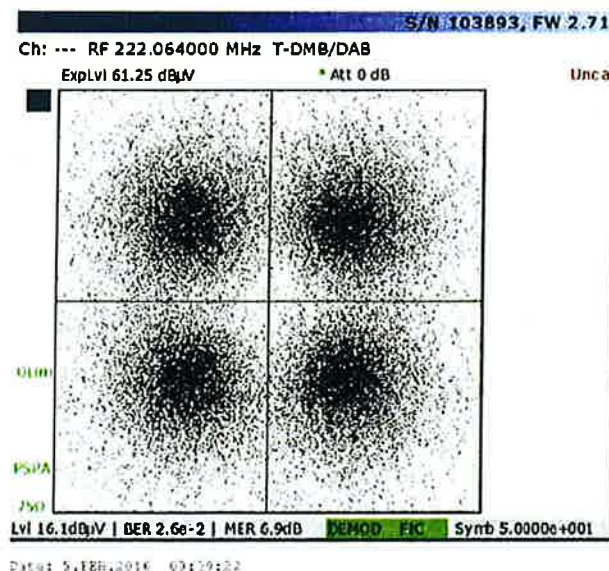


Abb. 8: Konstellationsdiagramm bei minimalem Eingangspegel an ME1

Abbildung 9 zeigt das OFDM Spektrum bei der Dämpfungsmessung bei minimalem Eingangspegel am Messempfänger ME1.

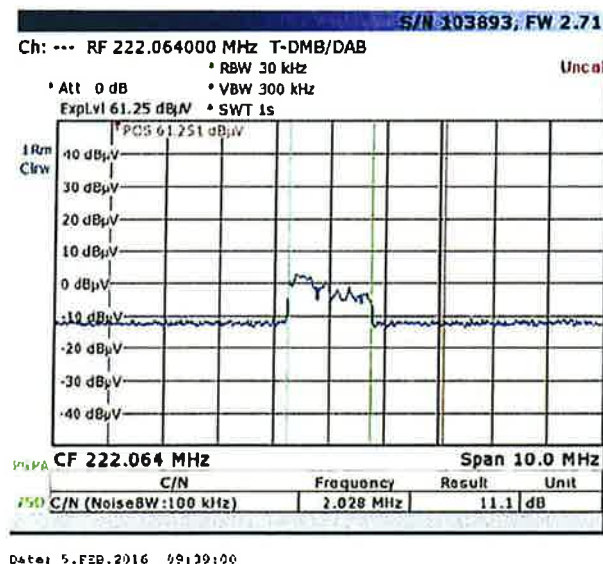


Abb. 9: OFDM Spektrum bei minimalem Eingangspegel am ME1

Die aus diesen Messungen gewonnenen Feldstärke-Informationen wurden mit den berechneten Werten unserer Planungssoftware verglichen. Hintergrund dieses Vergleichs ist die Überprüfung, wie gut die Kalkulation mit der Realität übereinstimmt und ob es nötig ist Korrekturen durchzuführen, um für die Planung eines flächendeckendes DAB+ Netzes ein bestmögliches Ergebnis liefern zu können. Abweichungen entstehen unter anderem dadurch, dass heutzutage modernere DAB+ Empfangschips in den Endgeräten verwendet werden, die eine höhere Empfindlichkeit aufweisen, als diese die damals bei der Entstehung der Planungsempfehlung zur Verfügung gestanden sind.

Es hat sich gezeigt, dass die ursprünglichen Planungsdaten, welche sich an den Daten der Nachbarländer mit DAB-Netzen im Regelbetrieb (Schweiz und Deutschland) anlehnen, eher pessimistisch ausfallen. Veranschaulichen lässt sich das anhand einer Kalkulation der Bedeckung für mobilen DAB+ Empfang.

Berechnet wurde eine Bedeckung mit den im Testbetrieb befindlichen Standorten Wien 8 – Liesing und Wien 9 – DC Tower. Abbildung 10 zeigt die Bedeckung für mobilen Empfang der ursprünglichen Planungsdaten (Farbe Grün), sowie der adaptierten Planungsdaten der ORS (Farbe Gelb). Zusätzlich wurde noch eine adaptierte Version anhand der persönlichen Erfahrungen der Belegschaft mit serienmäßig eingebauten DAB-Empfängern in verschiedenen Firmen- und Privat-PKWs sowie der Messungen ohne Sicherheitsreserven visualisiert (Farbe hellblau).

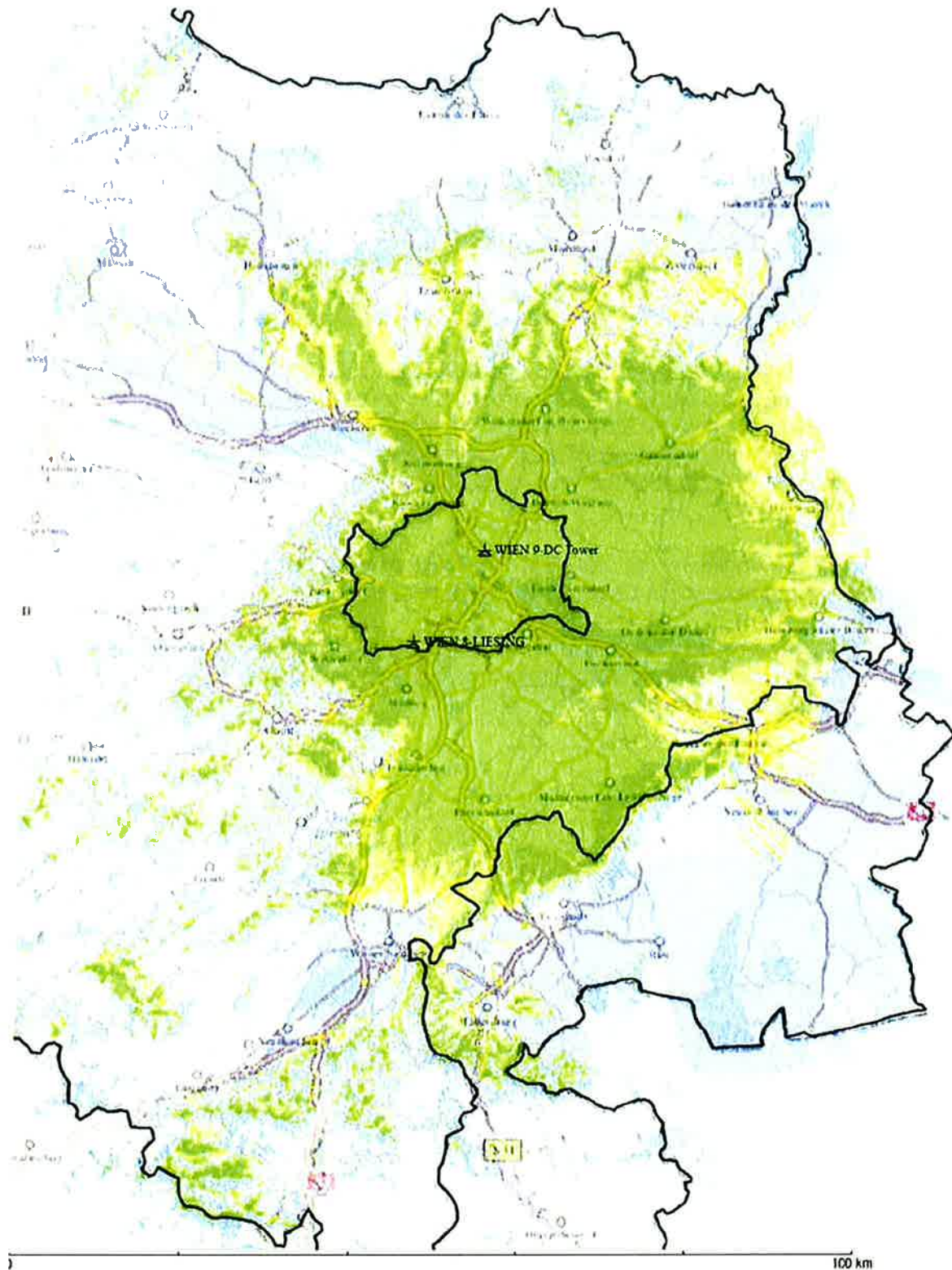


Abb. 10: Vergleich der Ausbreitungsmodelle

Alternativ lässt sich der Versorgungsunterschied in Populationszahlen darstellen, wie in Tabelle 2 angeführt ist.

IRT 2D, DTM100	urspr. Berechnung	ORS Berechnung	Messung/Erfahrung
pop EW100	Mobil, 58 dB μ V/m	Mobil, 48 dB μ V/m	Mobil, 33 dB μ V/m
2 Standorte Wien	2.120.000	2.250.000	2.600.000
Wien 9 - DC Tower	1.700.000	1.800.000	2.100.000
Wien 8 - Liesing	420.000	450.000	500.000

Tabelle 2: Vergleich der Populationszahlen der unterschiedlichen Planungsdaten

Die Bedeckung aus Messungen und Erfahrungen spiegelt die Situation der zur Verfügung gestandenen Gerätschaft wieder. Diese beinhaltet keinerlei Pegelreserven. Um ein funktionierendes Netz für das gesamte Spektrum an weniger guten Empfängern, Antennen und Empfangsbedingungen zu gewährleisten, kann dieses Szenario also nicht umgesetzt werden. Es soll aber veranschaulichen, mit welchen Reserven in der Berechnung der ORS gearbeitet wird

In Ergänzung ist in Abbildung 11 die Best-Server-Reichweite der einzelnen Sender bei mobilem Empfang des derzeitigen DAB+ Testbetriebs zu sehen.

Für eine gut funktionierende Adaption der Planungsdaten für Indoor-Empfang müssen in weiteren Messungen tiefgreifende Erfahrungen gesammelt werden, welche im nächsten DAB+ Testzeitraum durchgeführt werden.

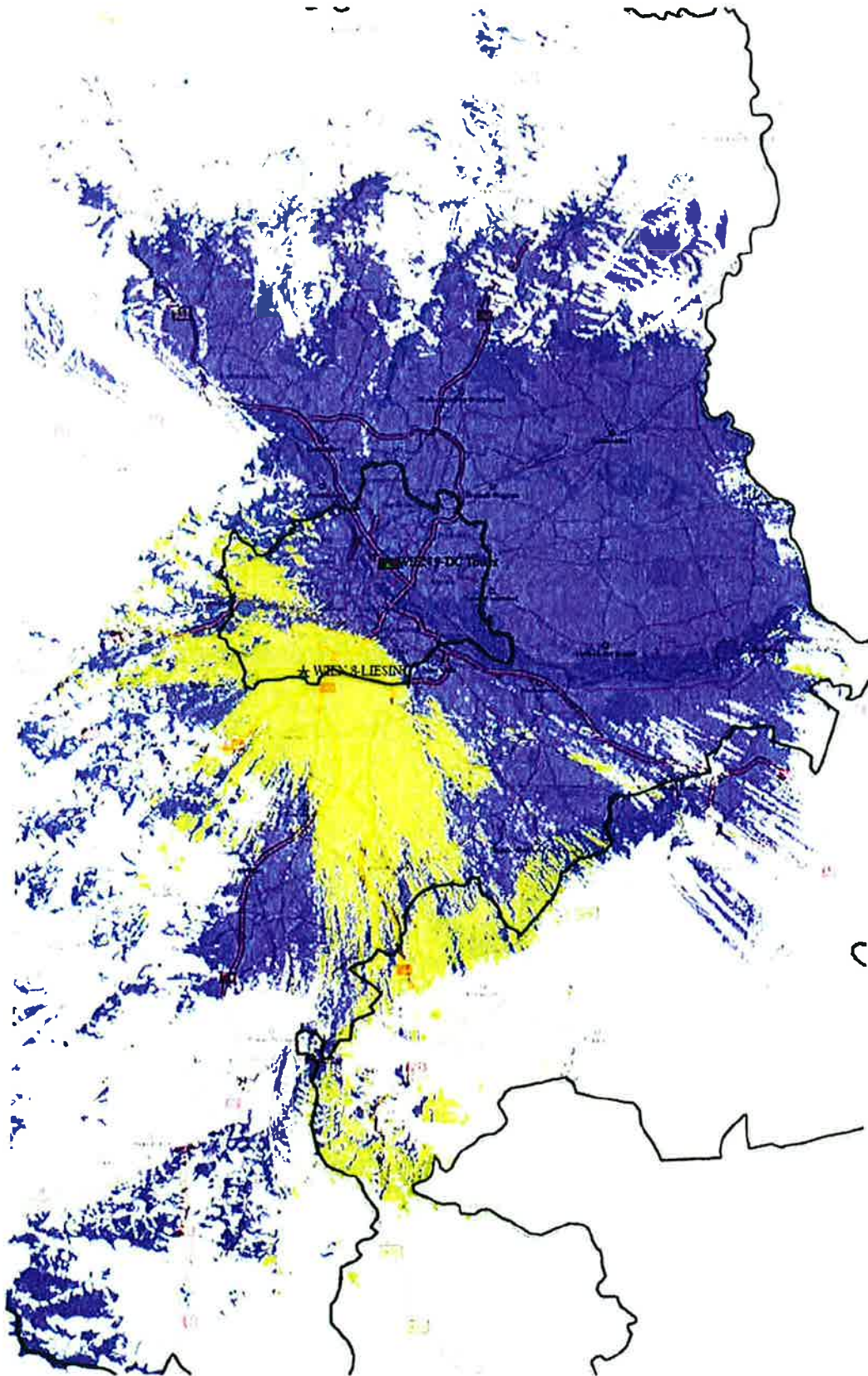


Abb. 11: Bedeckung DAB+ Test Wien

Man-Made-Noise Untersuchung anhand von LED Lampen

Für eine zufriedenstellende Empfangbarkeit von DAB+ gibt es mehrere Faktoren, die zu einer Verschlechterung führen können. Einerseits kommt es durch die Verwendung von DAB+ Empfängern und Antennen unterschiedlichster Qualität zu Unterschieden. Auf der anderen Seite kommt es durch selbst produzierte Störungen am Empfangsort immer wieder zu Problemen. Eine mittlerweile sehr bekannte Störung tritt bei Verwendung von billig hergestellten LED Lampen auf, die als direkter Ersatz der Glühbirne in Lampenfassungen geschraubt werden können. Diese Lampen beinhalten meist eine nicht EMV optimierte Spannungsquelle, die ein gewisses Rauschen verursacht und somit auch den Rauschpegel im DAB+ Signal anheben könnte, was zu einer drastischen Verschlechterung der Empfangbarkeit führt.

Dieses Problem wurde in einem sehr einfachen Messaufbau getestet.

Dabei wurde in einer Indoor-Empfangssituation eine LED Lampe in zwei Meter Abstand zur Empfangsantenne des DAB+ Empfängers in Betrieb genommen und die Auswirkung auf den Rauschpegel dokumentiert. Das Ergebnis soll den eventuellen Bedarf an weiteren Untersuchungen zeigen, die z.B. durch den TÜV durchgeführt werden könnten.

Abbildung 12 zeigt die Ausgangsempfangssituation. Es herrscht relativ geringer Empfangspegel, dennoch können die getesteten DAB+ Empfänger das Signal ohne Probleme wiedergeben.

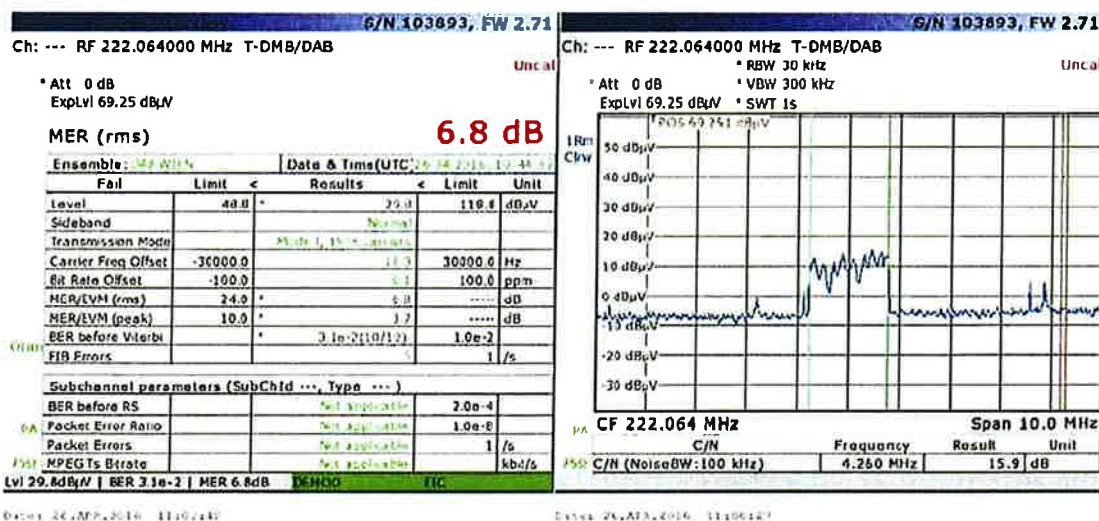


Abb. 12: Ausgangssignal für LED-Störungstest

Die C/N-Ratio beträgt ca. 16 dB. Man hätte das Signal noch ca. 5 dB abschwächen können bis es zu Aussetzern der Empfänger gekommen wäre.

Als nächster Schritt wurde eine Tischlampe mit E27 Fassung mit zwei unterschiedlichen LED Lampen in Betrieb genommen. Eine LED Lampe ist ein No-name Produkt mit einer Leistung von 12 Watt welche über einen österreichischen Online-Shop bezogen wurde. Die zweite Lampe ist ein Markenprodukt der Fa. Philips mit 9 Watt. Die No-Name Lampe produzierte derart starke Störungen, dass der DAB+ Empfang sofort unterbrochen wurde. Die Messbilder in Abbildung 13 zeigen warum.

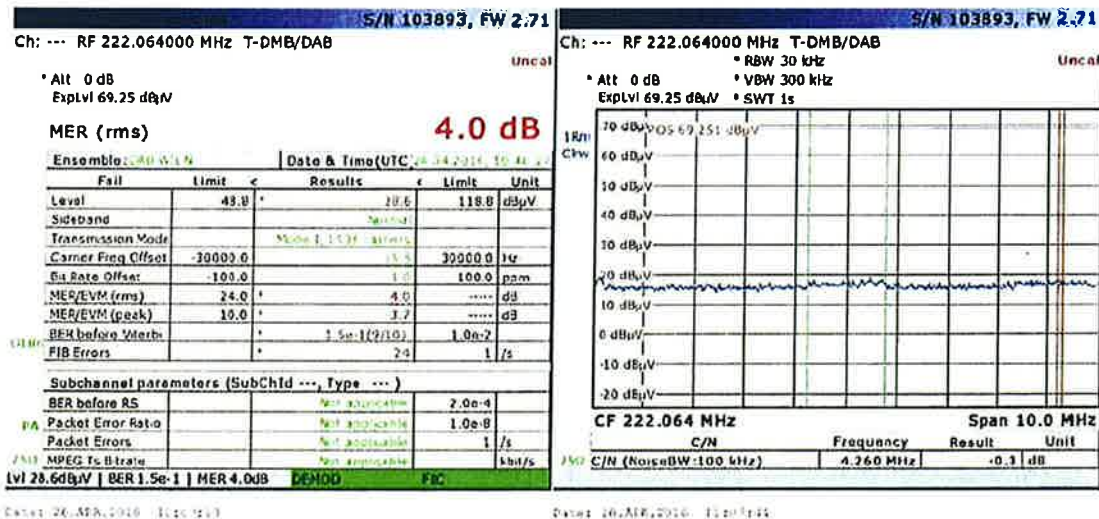


Abb. 13: DAB+ Signal bei eingeschalteter No-Name Lampe

Die Störungen der Lampe überlagern das DAB+ Signal in voller Gänze. Die C/N-Ratio geht gegen 0 dB.

Abbildung 14 zeigt die volle Auswirkung des Störungspotentials. Es wird sichtbar, dass der gesamte UKW Bereich ebenfalls gestört ist. Der schwarze Signalverlauf entspricht dem Empfang bei ausgeschalteter Lampe, blau überlagert ist der Verlauf der Störung durch die Lampe zu erkennen.

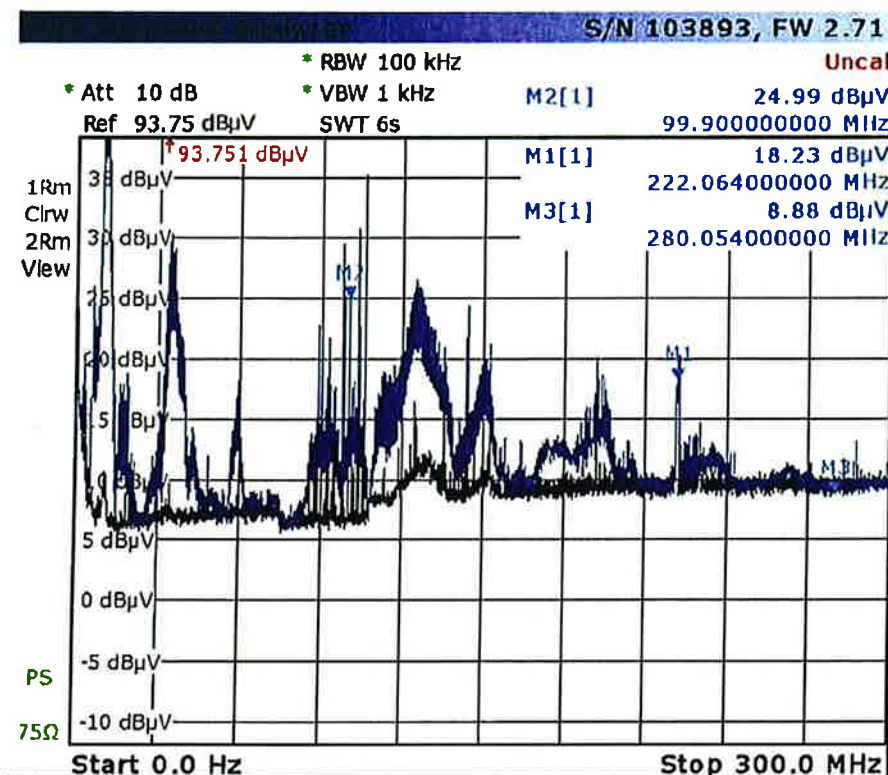


Abb. 14: Breitbandiges Spektrum bei eingeschalteter No-Name Lampe

Im Gegensatz dazu wurde dieselbe Messung mit der LED Lampe der Fa. Philips wiederholt, siehe Abbildung 15.

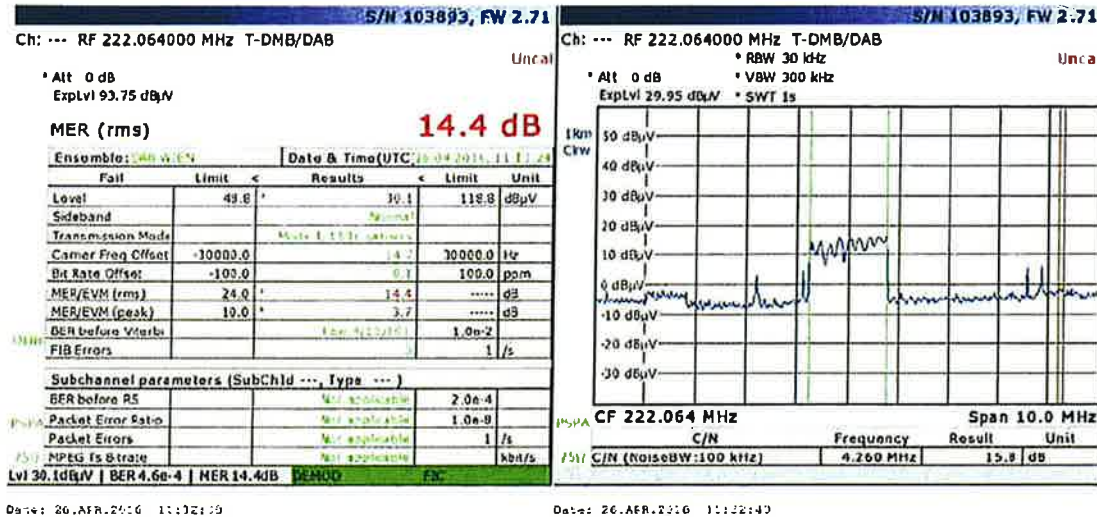


Abb. 15: DAB+ Signal bei eingeschalteter Philips Lampe

Die Messung ergibt, dass mit dem Markenprodukt keine Störungen im DAB+ Nutzsignal auftreten.

Erst in der breitbandigen Spektrum Messung (Abbildung 16) ist ein geringer Anstieg des Rauschens zwischen 110 und 150 MHz zu erkennen.

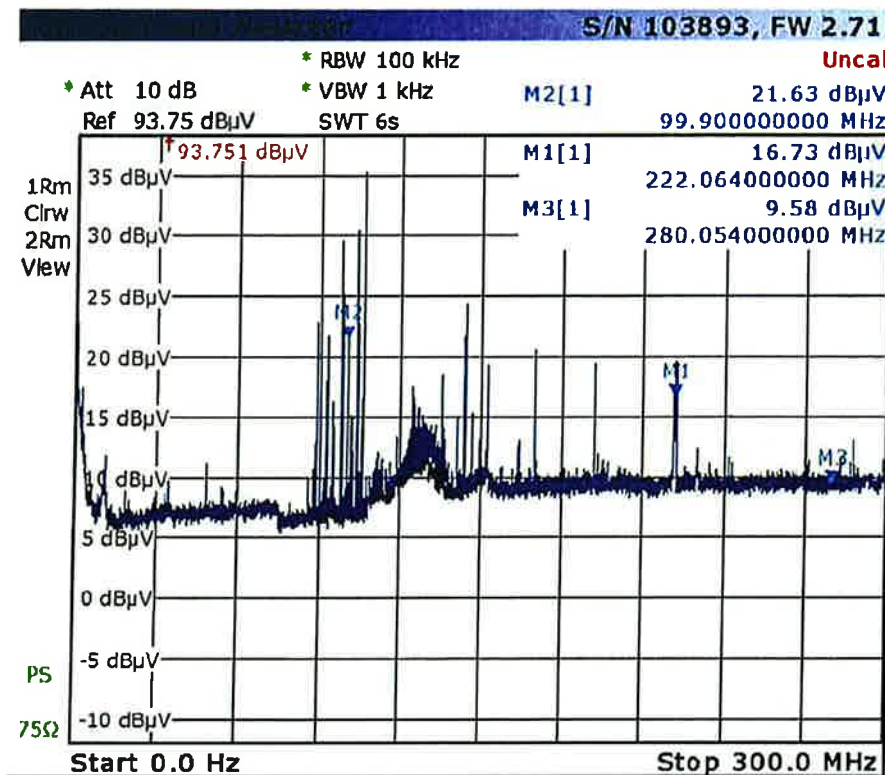


Abb. 16: Breitbandiges Spektrum bei eingeschalteter Philips Lampe

Dieses Thema sollte in weiteren Messungen weiter untersucht werden, um das generelle Störpotential anderer LED Lampen in Bezug auf die DAB+ Versorgung besser einschätzen zu können.

Zusammenfassung der stationären Messpunkte

Abbildung 17 vergleicht die folgenden, an den Messpunkten MP1 bis MP9 gemessenen Parameter: Maximal verfügbare Feldstärke in dB μ V/m, die MER in dB, die C/N-Ratio in dB und die BER vor Reed-Solomon (RS). Auf der horizontalen Achse sind Messpunkte inklusive deren Abstände zum DAB+ Sender in Kilometer abgebildet. Auf der linken vertikalen Achse sind die Feldstärke, die Modulation Error Rate und die C/N-Ratio abgebildet. Auf der rechten vertikalen Achse ist die Bit Error Rate aufgetragen. An den Messpunkten MP7, MP8 und MP9 herrschte keine direkte Sicht zu den beiden DAB+ Sendern.

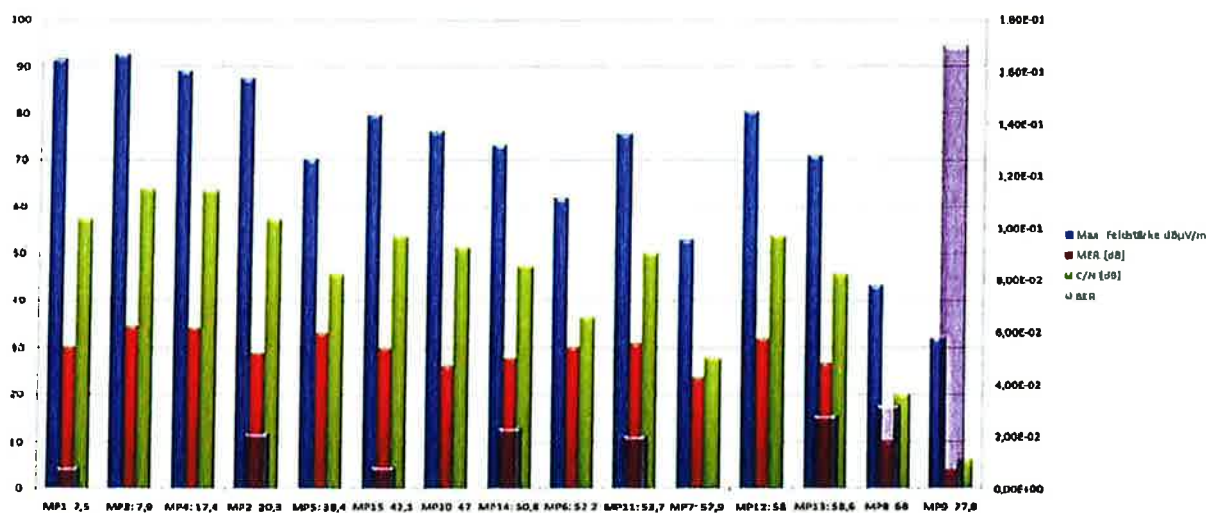


Abb. 17: Vergleich von Messparametern an verschiedenen Messpunkten

viii. Ausblick auf weitere Messungen

- **Untersuchung der Auswirkung des Umschaltens zwischen DAB+ Multiplexen auf die Empfänger**

Es soll das Verhalten von DAB+-Empfängern untersucht werden, wenn identische DAB+ Ensembles auf zwei verschiedenen DAB+-Multiplexen (MUX) angeboten werden und die Empfänger zwischen den beiden MUXen automatisch umschalten, z.B. wenn ein MUX aufgrund des Verlassens des Übertragungsbereiches nicht mehr empfangen werden kann.

- **Umfassende messtechnische Feldstärkeanalyse „Portable Indoor“**

Es wurden bereits erste Feldstärkemessungen beim „Portable Indoor“ Empfang sowie in Tiefgaragen durchgeführt. Zum jetzigen Zeitpunkt sind die gewonnenen Daten jedoch noch nicht hinreichend aussagekräftig. Daher müssen noch weitere Messungen durchgeführt werden. Da DAB+ im Gegensatz zu DAB einen zusätzlichen Fehlerschutz (Reed Solomon Code) verwendet, sind insbesondere die Ausfallschwelle und das Störverhalten der individuellen Empfangsgeräte zu untersuchen.

- **Verhalten der Empfänger beim Verlassen des DAB Versorgungsbereiches**

Um einen lückenlosen Programmempfang für den Radiohörer zu gewährleisten, muss auch die Umschaltung auf UKW beim Verlassen des DAB+-Versorgungsgebietes getestet werden.

- **Messtechnische Erfassung der SFN Parameter und deren Auswirkung auf die Empfänger**

Es wurden bereits erste Messungen von SFN Parametern durchgeführt. Die Ergebnisse sind jedoch noch nicht hinreichend aussagekräftig. Daher müssen diese Messungen noch vertieft werden. Insbesondere soll das Verhalten von Empfängern hinsichtlich des erforderlichen Mindestsignalpegels untersucht werden, wenn das Schutzintervall des COFDM Signals, z.B. bei Reflexionsempfang, verlassen wird.

- **Test von portablen und mobilen DAB+ Empfängern**

Derzeit besitzen die meisten der am Markt erhältlichen portablen und mobilen DAB+ Empfänger eine Teleskopantenne oder eine im Gerät eingebaute Antenne, jedoch keinen Anschluss für eine externe Signalzuführung. Daraus ergeben sich gravierende messtechnische Nachteile um das Verhalten des Empfangsgerätes aussagekräftig zu erfassen. Grundsätzlich ist die messtechnische Untersuchung von verfügbaren DAB+ Empfängern, die einen Anschluss für eine externe Signalzuführung besitzen, geplant.

III. Beschreibung der erfolgskritischen Faktoren des (Teil-)Projektes

Erfolgskritisch war in der ersten Phase, dass im vorgesehenen Sendegebiet ein stabiler und störungsfreier Empfang auch im Innenbereich von Wohnhäusern gewährleistet werden kann. Dies hängt sowohl von der Lage der Senderstandorte, der Sendeparameter als auch von der Sendeleistung und Qualität des eingesetzten Equipments (Sender, Filter und Antennen) ab. Auch die Signalzuleitung von den Studios zum Multiplexstandort im ORF Zentrum, welche durch eine MPLS-Leitung realisiert wurde, sowie die Zuleitung des gemultiplexten ETI-Datenstroms (seit 30. März 2016 auf „EDI-Datenstrom“, also IP-Daten, umgerüstet) zu den Sendeanlagen bedurfte genauer Planung und stabiler Technik.

Die Wahl der Sendeparameter ist aus Sicht der ORS ein wesentlicher Baustein für den möglichen Erfolg sowohl in technischer (Empfang möglich) als auch in kommerzieller Hinsicht und ist auch abhängig von den regulatorischen Rahmenbedingungen.

IV. Darstellung des zeitlichen Entwicklungsverlaufs

Mit Bescheid KOA 4.510/15-020 vom 31.03.2015, abgeändert durch Bescheid KOA 4.510/15-031 vom 08.05.2015, jeweils der Kommunikationsbehörde Austria (KommAustria), wurde der ORS comm GmbH & Co KG (ORS comm) die Bewilligung zum Betrieb der terrestrischen Multiplex-Plattform „DAB+ Testbetrieb Wien“ zur versuchsweisen Übertragung von digitalen Hörfunkprogrammen und Zusatzdiensten, befristet bis 01.04.2016, erteilt.

In der Zeit vom 21.05.2015 bis 28.05.2015 wurden testweise Pfeifsignale und/oder Programme, die im Simulcast aufgeschaltet wurden, gesendet. Der eigentliche Sendestart war jedoch der 28.05.2015; in den ersten Wochen war aufgrund der technischen Gegebenheiten vorerst lediglich ein Unicast-Betrieb möglich.

Im Laufe des 1. Pilotjahres konnte jeder Rundfunkveranstalter seine eigenen Softwarelösungen für die Datenanlieferung für DLS+, Journaline und Picture Slideshow nach eigenem Zeitplan herstellen und testen. Darüber hinaus wurden diverse Messfahrten zur Aufnahme von Messreihen unternommen.

Mit Förderentscheidung zu GZ DFDAB0001-0001/2015 vom 26.06.2015 hat die RTR-GmbH festgestellt, dass das beantragte Projekt den Richtlinien entspricht und die Voraussetzungen zur Förderung des Projekts durch den Digitalisierungsfonds vorliegen. Ein entsprechender Förderungsvertrag für die Förderungen von Projekten durch den Digitalisierungsfonds wurde zwischen RTR-GmbH und ORS comm abgeschlossen. Gemäß diesem Vertrag ist ein schriftlicher Projektendbericht zu erstellen.

Zwischenzeitlich hat die ORS comm jedoch am 08.10.2015 bei der KommAustria einen Antrag auf Verlängerung der „DAB+ Testbetrieb Wien“-Lizenz um ein Jahr gestellt. Mit Bescheid KOA 4.510/16-004 vom 14.03.2016 wurde die Bewilligung zum Betrieb der terrestrischen Multiplex-Plattform „DAB+ Testbetrieb Wien“ zur versuchsweisen Übertragung von digitalen Hörfunkprogrammen und Zusatzdiensten, befristet für die Zeit vom 02.04.2016 bis zum 02.04.2017, erteilt.

Da die bisherige Projektlaufzeit von weniger als einem Jahr nicht ausreichend war, um DAB+ hinreichend zu erproben, wurde darüber hinaus auch die Gewährung eines nicht rückzahlbaren Zuschusses für Testphase 2 des „DAB+ Testbetrieb Wien“ (Verlängerung) gemäß den Richtlinien über die Förderung von Projekten durch den Digitalisierungsfonds beantragt.

Nach Rücksprache mit dem Digitalisierungsfonds bei der RTR-GmbH erfolgt der Projektbericht daher nicht in Form eines Projektendberichts, sondern eines Projektzwischenberichts.

V. Darstellung der angelaufenen Projektkosten sowie Glaubhaftmachung der widmungsgemäßen und sparsamen Verwendung der Förderungsmittel (vertraulich, nicht veröffentlichen!)

Die Finanzzahlen aus dem DAB+ Testbetrieb in Wien stellen sich einerseits aus den eigens für dieses Projekt angeschafften Anlagegegenständen (Investitionen) und andererseits aus den Betriebskosten und internen Leistungen (Personalaufwand), welcher mittels Zeitaufzeichnung dokumentiert wurde, zusammen.

Die in diesem Bericht vorliegenden Zahlen entsprechen dem Leistungszeitraum Q1 2015 bis inkl. Q4 2015, und die in diesem Zeitraum angefallenen Aufwendungen.

Die Investitionen (CapEx) wurden im ORS Buchhaltungssystem (SAP) unter dem PSP Projekt [REDACTED] verwaltet und dokumentiert.

Die Kosten für das Projekt wurden anhand von Zeitaufzeichnungen der am Projekt beteiligten Mitarbeiter, und über die anteilig angefallenen Aufwendungen für Strom, Miete und Betriebs- Wartungskosten aus den IST Daten und aus der Kostenrechnung kalkuliert.

Eine Zuteilung von IST-Betriebskosten für unterschiedliche Verbreitungswege (DAB+, DVB-T2, UKW,...) an ein und demselben Senderstandort ist faktisch nicht möglich. Eine Ermittlung der Betriebskosten je Verbreitungsweg ist jedoch kalkulatorisch möglich. Dies liegt darin begründet, dass bspw. an einem Sendestandort bloß ein Stromzähler für alle Verbreitungswege vorhanden ist.

Aus diesem Grund sind die Plandaten kalkulatorische Werte, welche sich aus der Leistung der Sendegeräte und den durchschnittlichen Stromkosten der ORS comm errechnen. Die Mietkosten wurden aus den tatsächlichen Verträgen, welche seinerzeit für die Nutzung der Standorte (z.B. DC Tower) abgeschlossen wurden, herangezogen und sind somit Fixkosten. Betrieb und Wartung sind anteilige Betriebskosten (Personalkosten) die aus der Kostenrechnung auf den Pilotbetrieb umgelegt wurden.

Investitionsbericht (CapEx):



Aufwendungen (OpEx) DAB+ Testprojekt:



Leistungsaufzeichnung:

Die Leistungsaufzeichnung erfolgte im Excel vom jeweiligen Projektmitarbeiter und wurde laufend über die Projektlaufzeit dokumentiert. Die Detailberichte pro Mitarbeiter wurden im internen Projektordner abgespeichert.

Bereich	1Q 2015 Stunden	2Q 2015 Stunden	3Q 2015 Stunden	4Q 2015 Stunden
Geschäftsführung	1,5	0,5	0	0,5
Technische Planung / Messtechnik ...	161	131	131	130
Kaufmännische Verwaltung (Controlling, Rechts, ...)	15	7,5	16,5	24
Marketing / Kommunikation	0	0	0	0
Support (Marketing, Komm., Sekretariat, ...)	1,5	1	1	2
GESAMT				

Zusammenfassung:

SUMME GESAMT DAB+ Testprojekt Wien	€ 614.590,50

VI. Begründete Darstellung von wesentlichen Abweichungen gegenüber den im Projektantrag eingereichten Planungen

Folgende Bereiche sollten im Rahmen von Testphase 1 des Pilotprojekts untersucht werden:

- Umschaltung zwischen zwei Frequenzblöcken (i.d.F. 11D und 12B) und Feststellung der Auswirkungen auf die Empfänger
- Umfassende messtechnische Feldstärkeanalyse „portable indoor“ bis hin zu Tiefgaragen etc.
- Verhalten des Empfängers beim Verlassen des DAB Versorgungsbereiches (Umschaltkriterien DAB – UKW)
- Messtechnische Erfassung der SFN Parameter und deren Auswirkung auf die Empfänger
- Automatische Empfängerrekonfiguration bei dynamisch hinzu- bzw. weggeschalteten Programmen
- Test von portablen und mobilen Devices
- Bewertung der Zusammenhänge zwischen zugewiesenen CU's und Audioqualität in Abhängigkeit des Fehlerschutzes bzw. des Programmformats (Wortprogramm, Musik)
- Emergency Warning Functionality (EWF)
- TPEG Verkehrsinformationen
- Journaline®
- EPG (Electronic Program Guide)
- Dynamic Label Service+ (DLS)
- Radio VIS
- Slideshow Service (SLS)
- Broadcast Web Site (BWS)
- Announcement (Schlagzeilen – Sport, Wetter, Verkehr...)

Die Untersuchung dieser Bereiche stellte sich im Zuge der Testphase 1 jedoch wesentlich komplexer und umfangreicher dar als ursprünglich erwartet. Entgegen der ursprünglichen Annahme musste deutlich mehr Zeit und Personal aufgewendet werden, um zufriedenstellende Resultate bzw. Ergebnisse zu erzielen. Daher konnten im Rahmen dieser ersten Testphase bei den Datendiensten bislang lediglich (zum Teil) die messtechnische Feldstärkeanalyse „portable indoor“, (zum Teil) das Verhalten des Empfängers beim Verlassen des DAB Versorgungsbereiches, (zum Teil) die messtechnische Erfassung der SFN Parameter und deren Auswirkung auf die Empfänger, (zum Teil) portable und mobile Devices, Journaline®, (zum Teil) EPG in Form des ORS-EPG, (zum Teil) Dynamic Label, (zum Teil) Dynamic Label+ (Titel und Interpret), (zum Teil) Slideshow (Stationslogo und auch Cover) erprobt werden.

Daher sollen im Rahmen von Testphase 2 folgende Bereiche erstmalig oder eingehender untersucht werden.

- **Umfassende messtechnische Feldstärkeanalyse „portable indoor“ bis hin zu Tiefgaragen etc. – eingehendere Untersuchung**

Erste Messungen wurden dazu bereits durchgeführt und damit der Grundstein für weitere Untersuchungen gelegt. Zum jetzigen Zeitpunkt sind die gewonnenen Daten jedoch noch nicht hinreichend aussagekräftig.

Bereits erfolgt ist eine Prüfung der errechneten Versorgungskarten, um die Rahmenbedingungen für ein österreichisches DAB+ Netz zu präzisieren. Da DAB+ im Gegensatz zu DAB im Audio Stream einen zusätzlichen Fehlerschutz (Reed Solomon Code) besitzt, sind zudem die Ausfallschwelle und das Störverhalten des Audiosignals der individuellen Empfangsgeräte zu untersuchen, beides erfordert noch weitere Messungen im Rahmen von Testphase 2.

- **Verhalten des Empfängers beim Verlassen des DAB Versorgungsbereiches (Umschaltkriterien DAB – UKW) – eingehendere Untersuchung**

Bereits getestet wurde das Verhalten der unterschiedlichsten DAB+-Empfangsgeräte beim Verlassen des Versorgungsgebiets. Nicht erprobt wurde jedoch die weiterführende Umschaltung auf UKW um einen lückenlosen Programmempfang für den Teilnehmer beim Verlassen des DAB+-Versorgungsgebiets zu gewährleisten. Getestet wurde rein das Verhalten der DAB+-Empfangsgeräte bei einem Abfall des Signalpegels unter die mindesterforderliche Grenze, bei welcher die Empfangsgeräte gerade noch ein Audiosignal reproduzieren können.

- **Messtechnische Erfassung der SFN Parameter und deren Auswirkung auf die Empfänger – eingehendere Untersuchung**

Zu den SFN (Single Frequency Network) Parametern zählt beispielsweise das sogenannte „Guard Interval“; dies ist ein kurzer Zeitraum zwischen den Datenpaketen, welcher verhindern soll, dass sich einzelne Übertragungen überlagern oder vermischen.

Auch hier wurden bereits erste Messungen durchgeführt, deren Ergebnisse jedoch noch nicht hinreichend aussagekräftig sind.

Daher soll im Rahmen von Testphase 2 das Verhalten eines Empfängers mit bzw ohne SFN (Single Frequency Network) erfasst und untersucht werden. Insbesondere soll eine Messung des Verhaltens eines Empfängers erfolgen, wenn dieser die Guardintervallgrenzen (für Mode 1) verlässt. Das Ergebnis soll zeigen, ob sich das Empfangsverhalten durch Umschaltung von diversen SFN-Parametern der Empfangsgeräte hinsichtlich des mindesterforderlichen Signalpegels verbessert oder verschlechtert.

- **Test von portablen und mobilen Devices – gegebenenfalls eingehendere Untersuchung**

Derzeit verfügen die meisten erhältlichen portablen und mobilen Geräte über keinen Antennenanschluss für externe Signalzuführung, sondern lediglich über eine Teleskop- bzw eine fix eingebaute Antenne. Daraus ergeben sich gravierende messtechnische Nachteile um das Verhalten des Empfangsgerätes aussagekräftig zu

erfassen. Bislang konnte aus diesen Gründen lediglich ein USB-Stick der Marke NOXON getestet werden.

Grundsätzlich ist gegebenenfalls die Untersuchung von weiteren Geräten in Testphase 2 angedacht, dies ist jedoch größtenteils von der Zuverfügungstellung geeigneter Geräte abhängig.

- **EPG (Electronic Program Guide) – eingehendere Untersuchung**

Dabei wird die jeweilige Programmliste entweder pro Teilnehmer oder auch gesammelt für alle Teilnehmer getestet.

In Grundzügen wurde der ORS-EPG bereits erprobt. Bislang war jedoch nur ein Einspielen der Logos möglich, in weiterer Folge sollen nunmehr auch Programmlisten eingespielt werden.

- **Dynamic Label Service+ (DLS) – eingehendere Untersuchung**

Dieses Service ermöglicht eine Anzeige von Textinformationen am Empfangsgerät des Nutzers. Der Einsatz von DLS soll im Rahmen des gegenständlichen Testprojekts untersucht werden.

Dieses Service wurde bereits teilweise erprobt, der Einsatz wird jedoch noch laufend ausgedehnt bzw weiterentwickelt.

- **Slideshow Service (SLS) – eingehendere Untersuchung**

Diese ermöglicht eine Anzeige z.B. von Titel und Interpret am Empfangsgerät und soll im Rahmen des gegenständlichen Testprojekts untersucht werden.

Dieses Service wurde bereits teilweise erprobt, der Einsatz wird jedoch noch laufend ausgedehnt bzw weiterentwickelt

VII. Erklärungen über die weitere Verwendung von Anlagevermögen, das im Rahmen des geförderten Projektes angeschafft wurde

Sollte es zu keinem Regelbetrieb kommen, ist eine Weiterverwendung der Geräte, etwa für DVB-T2, aufgrund des genutzten Frequenzbandes (VHF für DAB+/UHF für DVB-T2) unmöglich, da die frequenzbestimmenden Komponenten nicht dahingehend adaptiert werden können. Betreffend den Multiplexer wäre bedingt durch die grundverschiedene Datenstruktur bzw des abweichenden Codierverfahrens nicht einmal eine teilweise Weiterverwendung möglich.

VIII. Begründete Erklärung der kurz- und mittelfristig (1-5 Jahre) fehlenden kommerziellen Refinanzierbarkeit der Gesamtkosten ohne Förderung

Ob und wann DAB+ realisiert werden kann und inwieweit die ORS im Regelbetrieb involviert sein wird, hängt maßgeblich von politischen und behördlichen Entscheidungen ab. Es ist daher ungewiss, ob und in welchem Umfang die ORS comm die im Testbetrieb gewonnenen Erkenntnisse schlussendlich nutzen wird können. Eine Umsetzung des beschriebenen Projekts ohne Förderung durch die RTR wäre daher kaufmännisch nicht vertretbar.

IX. Veröffentlichung

Um den Umfang des Berichtes aufgrund der gewonnenen Fülle an Messergebnissen nicht zu überladen wurden im vorliegenden Bericht nur ausgewählte Messergebnisse vorgestellt. Vertrauliche Informationen in diesem Bericht sind mit „(vertraulich)“ gekennzeichnet.

X. Abkürzungen

AES	Audio Engineering Society	SFN	Single Frequency Network
BER	Bit Error Rate	T-DAB	Terrestrial DAB
C/N	Carrier-to-Noise Ratio	T-DMB	Terrestrial DMB
CU	Capacity Unit	VHF	Very High Frequency
DAB	Digital Audio Broadcast		
DCT	DC Tower		
DMB	Digital Multimedia		
Broadcasting			
EBU	European Broadcast Union		
EDI	Encapsulation of DAB		
Interfaces			
EEP	Equal Error Protection		
ERP	Effective Radiated Power		
ETI	Ensemble Transport		
Interface			
FH	Fachhochschule		
HF	Hochfrequenz		
IGL	Industriegebiet Liesing		
LAN	Local Area Network		
MER	Modulation Error Rate		
MFN	Multifrequency Network		
MP	Messpunkt		
MPLS	Multiprotocol Label		
Switching			
MUX	Multiplex		
NPAD	Non-Program Associated		
Data			
NTP	Network Time Protocol		
OFDM	Orthogonal Frequency		
Division Multiplexing			
PAD	Program Associated Data		
PPS	Pulse Per Second		
RF	Radio Frequency		
RS	Reed-Solomon		

XI. Referenzen

- [AN] Logarithmisch Periodische Breitbandantenne USLP 9143 B; <http://schwarzbeck.de/Datenblatt/K9143B.pdf>
- [BMT] Der Systemstandard DAB+; Bayrische Medien Technik GmbH; <http://www.bmt-online.de>
- [DG] RF Attenuator 752-005-080; <http://datasheets.globalspec.com/ds/2845/BroadwaveTechnologies/E83A3343-A83F-48DC-BBE1-C78DCF25F4F3>
- [DigKon] KommAustria; „*Digitalisierungskonzept zur Einführung von digitalem terrestrischen Fernsehen gemäß §21 Abs. 5 PrTV-G*“; Dezember 2003;
- <https://www.bka.gv.at/2004/4/5/Digitalisierungskonzept.pdf>
- [DM] WISI DM 03 A; <http://www.wisi.at/produktdetails.aspx?ARTID=406>
- [DRÖ] Digitalradio Österreich; <http://www.digitalradio-oesterreich.com/>
- [ETL] R&S@ETL TV Analyzer; <http://www.rohde-schwarz.at/product/etl.html>
- [FHTW] Fachhochschule Technikum Wien; <http://www.technikum-wien.at/>
- [IEEE1] D. Plets, W. Joseph, P. Angueira, J.A. Arenas, L. Verloock, L. Martens; „*On the methodology for calculating SFN gain in digital broadcast systems*“; Journal: IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 56, No. 3, September 2010
- [IM] Ingenieurbüro Sven Mulka; <http://www.ib-mulka.de/>
- [KA] Kathrein; <https://www.kathrein.com/de/>
- [LCD] Produktdaten LCD 111; <http://www.kathrein.de/sat/produkt/21510011/>
- [ORS] Österreichische Rundfunksender GmbH & Co KG; <http://www.ors.at/>
- [RS] Rohde & Schwarz Österreich; <http://www.rohde-schwarz.at/>
- [SK] T. Sommer, P. Knorr; „*Digitale Radiorundfunk in Österreich*“; Elektrotechnik & Informationstechnik (2015) 132/4-5: 249-256. DOI 10.1007/s00502-015-0311-8
- [SM] Schwarzbeck Messelektronik; <http://www.schwarzbeck.de/>
- [TR025] European Broadcast Union (EBU); „*TR025 Report on Frequency and Network Planning Parameters related to DAB+*“; Version 1.1; October 2013; <https://tech.ebu.ch/docs/techreports/tr025.pdf>
- [UniKarlsruhe] Prof. Dr. Zitterbart; Vorlesung Mobilkommunikation Sommersemester 2006; Institut für Telematik; Universität Karlsruhe
- [WI] Wilhelm Sihn Jr. & Co Ges.m.b.H.; Empfangs- und Verteiltechnik; <http://www.wisi.at/>