BROADCAST INNOVATIONS

DAB+ Analyzer

Handleiding — DAB/DAB+ meten en analyseren



- DAB+-techniek en meetdefinities toegelicht
- Alle meetschermen en instellingen uitgelegd
- SFN-analyse met TII en timingfout per zender
- Meetrapporten, meetpraktijk en probleemoplossing

Versie 1.0.5 · Broadcast Innovations · Copyright © Peter Oonk

Inhoud

1. Inleiding 4
- Wat meet de DAB+ Analyzer? 4
- Conventies in deze handleiding 4

2. DAB+ in vogelvlucht 5
- 2.1 OFDM-parameters van transmissiemode I 6
- 2.2 Het transmissieframe 7
- 2.3 Kanaalcodering 7
- 2.4 FIC en FIG's 8
- 2.5 DAB+ audio (ETSI TS 102 563) 8
- 2.6 Enkelfrequentienetwerk (SFN) en TII 8

3. Installatie, ontvangers en licentie 9
- 3.1 Systeemeisen 9
- 3.2 Ondersteunde ontvangers 9
- 3.3 Opstelling 10
- 3.4 Installeren 10
- 3.5 Licentie 11

4. Het hoofdvenster 12
- Statuslampjes 13
- Statusbalk en DSP-belasting 13

5. Overview — de kerngrootheden 14
- 5.1 RF-niveau 14
- 5.2 MER — Modulation Error Ratio 14
- 5.3 BER vóór Viterbi 15
- 5.4 CNR — in-band draaggolf/ruisverhouding 15
- 5.5 SNR — differentieel 15
- 5.6 FIC-foutpercentage, audiofouten en frequentie-offset 16
- 5.7 Indicatieve drempels 16
- 5.8 Servicetabel 16

6. Spectrum 17
- 6.1 RF-spectrum 17
- 6.2 Shoulders en bezette bandbreedte 17
- 6.3 MER per draaggolf 18
- 6.4 Fasefout per draaggolf 18

7. Constellation 19

8. Channel / SFN / TII 19
- 8.1 Kanaalimpulsrespons 20
- 8.2 TII-decodering 21
- 8.3 Zendernummers en zenderlijst 21
- 8.4 SFN-timingfout per zender 22

9. Ensemble 24

10. Service 25

10.1 SlideShow 25

10.2 Foutentellers 26

11. Audio 27

12. FIG tables 29

13. History 30

Gebeurtenissenlog 32

14. Report — het meetrapport 32

Beoordeling 33

15. Band scan 35

16. Settings 35

17. Mobiel meten en GPS 37

18. Niveaukalibratie 38

19. Meetpraktijk en interpretatie 40

20. Problemen oplossen 40

21. Specificaties en normen 41

Normen 42

Software van derden 42

22. Begrippenlijst 43

1. Inleiding

De **DAB+ Analyzer** is een softwarematige meetontvanger voor DAB en DAB+ (ETSI EN 300 401, transmissiemode I, Band III). Met een SDR-ontvanger (RTL-SDR, Airspy of SDRplay) en een Windows-pc demoduleert en decodeert het programma het volledige ensemble en meet het de RF-kwaliteit, de integriteit van het multiplex, de audio en de opbouw van het enkelfrequentienetwerk (SFN). Het programma is ontworpen als **mobiele meetontvanger**: voor metingen op locatie, in de auto of bij een zenderstation, met GPS-positie, een meetgeschiedenis van een uur en PDF-meetrapporten.

Deze handleiding richt zich op technici en engineers die DAB-netwerken plannen, bouwen, onderhouden of controleren. Hoofdstuk 2 vat de relevante DAB-techniek samen, zodat de meetdefinities in de hoofdstukken daarna te volgen zijn. De overige hoofdstukken behandelen per scherm wat er gemeten wordt, hoe dat gebeurt en hoe u de uitkomst interpreteert.

Wat meet de DAB+ Analyzer?

Gebied	Meetgrootheden
RF	Ingangsniveau (dBm / dBµV), CNR, MER (gemiddeld en per draaggolf), SNR, kanaal-BER vóór Viterbi (dB), frequentie-offset, fasefout per draaggolf, spectrum met shoulders en bezette bandbreedte
Modulatie	D-QPSK-constellatie na differentiële demodulatie
SFN	Kanaalimpulsrespons (vertraging, afstand, niveau van zenders en echo's), guard-interval-controle
TII	MainId/SubId per zender, niveau, vertraging, zendernaam uit een zenderlijst, timingfout per zender
Multiplex	FIB-foutpercentage, alle FIG-tabellen (type 0, 1 en 2), capaciteitsverdeling (CU-kaart), services en subkanalen met bitrate en beschermingsniveau
Services	Codec (HE-AAC v2, HE-AAC, AAC-LC, MPEG Layer II), Reed-Solomon-correcties, superframe-, AU- en Fire-code-fouten per service
Audio	Afluisteren, sample peak en true peak, loudness (momentary, short-term, integrated, LRA) volgens ITU-R BS.1770-4 / EBU R 128, L/R-correlatie
PAD	Dynamic Label (DLS), DL Plus (artiest, titel, ...), MOT SlideShow
Overig	Bandscan Band III, meetgeschiedenis (1 uur) met CSV-export, gebeurtenissenlog, GPS (NMEA), PDF-meetrapport met PASS/FAIL, signaalsimulator

Conventies in deze handleiding

- Knoppen, menu's en schermnamen staan vet en in het Engels, zoals in het programma: **Overview**,

Settings, **Load transmitter list...**.

- Toetsen staan in een grijs vak: `Enter`, `↑`.
- Decimale getallen in de tekst gebruiken een komma; het programma toont een punt.
- Waar formules staan, is *P* een vermogen (lineair), *N* ruisvermogen en *k* een draaggolfindex (−768 … 768, zonder 0).

BELANGRIJK

De DAB+ Analyzer is een indicatief meetinstrument op basis van een SDR-ontvanger. De nauwkeurigheid wordt begrensd door de ontvanger (o.a. 8-bit ADC bij de RTL-SDR, faseruis, kristalnauwkeurigheid) en door de niveaukalibratie. Metingen vervangen geen geaccrediteerde meting met gekalibreerde meetapparatuur.

2. DAB+ in vogelvlucht

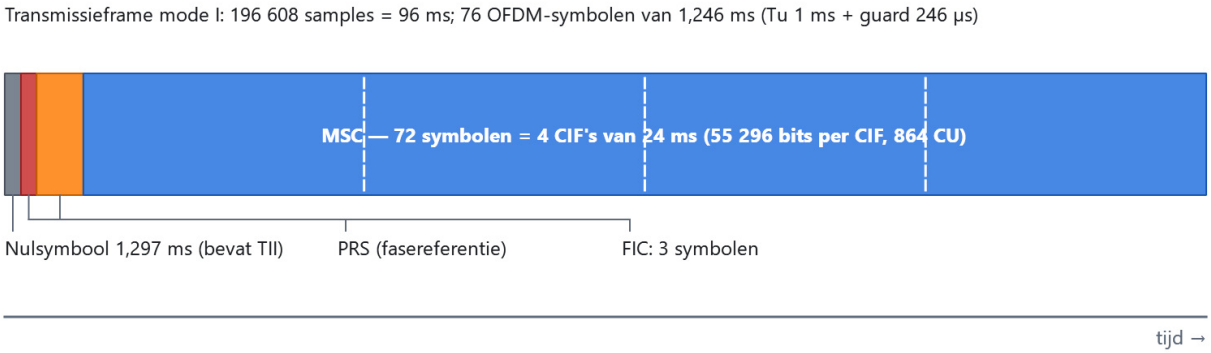
Dit hoofdstuk vat de onderdelen van ETSI EN 300 401 (DAB) en ETSI TS 102 563 (DAB+) samen die nodig zijn om de metingen te begrijpen. Voor de volledige specificatie verwijzen we naar de normen.

2.1 OFDM-parameters van transmissiemode I

DAB gebruikt OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing): de data wordt verdeeld over 1536 smalle draaggolven met een onderlinge afstand van 1 kHz. Elke draaggolf is D-QPSK-gemoduleerd: de informatie zit in het fasesprongetje ten opzichte van hetzelfde draaggolf in het vorige symbool. Daardoor hoeft de ontvanger het kanaal niet absoluut te kennen. Een guard-interval (cyclisch voorvoegsel) voor elk symbool vangt echo's en de signalen van andere SFN-zenders op.

Parameter	Waarde	Opmerking
Bezette bandbreedte	1,536 MHz	kanaalraster Band III: 1,712 MHz (5A … 13F)
Aantal draaggolven K	1536	draaggolfindex k = −768 … 768, k = 0 (DC) ongebruikt
Draaggolfafstand Δf	1 kHz	= $1/T_u$
Nuttige symboolduur T_u	1 ms	2048 samples bij 2,048 MS/s
Guard-interval T_g	≈ 246 µs	504 samples; maximale padverschil ≈ 73,8 km
Symboolduur T_s	≈ 1,246 ms	2552 samples
Nulsymbool T_{null}	≈ 1,297 ms	2656 samples; bevat de TII-draaggolven
Symbolen per frame L	76	1 PRS + 3 FIC + 72 MSC
Transmissieframe T_F	96 ms	196 608 samples
Modulatie	π/4-verschoven D-QPSK	2 bits per draaggolf per symbool
Bruto bitrate	≈ 2,4 Mbit/s	netto 0,6 … 1,7 Mbit/s afhankelijk van de bescherming

2.2 Het transmissieframe



Figuur 2.1 — Opbouw van een transmissieframe in mode I

- **Nulsymbool** — een periode zonder signaal, waarmee de ontvanger het begin van het frame vindt. In frames met CIF-teller 0–3 (modulo 8) zendt elke zender hier zijn TII-patroon uit.
- **Fasereferentiesymbool (PRS)** — een bekend symbool; het is de referentie voor de differentiële demodulatie én de bron voor de kanaalimpulsrespons (SFN-analyse) en de frequentiesynchronisatie.
- **FIC** (Fast Information Channel, 3 symbolen) — bevat per frame 12 Fast Information Blocks (FIB's) van 32 bytes met CRC. Daarin staan de FIG's: de beschrijving van het multiplex (MCI) en de service-informatie (SI).
- **MSC** (Main Service Channel, 72 symbolen) — de eigenlijke programmadata, verdeeld in vier Common Interleaved Frames (CIF's) van 24 ms. Een CIF telt 864 Capacity Units (CU) van 64 bits.

2.3 Kanaalcodering

De data van elk subkanaal doorloopt aan de zenderkant achtereenvolgens: energiespreiding (XOR met een PRBS, polynoom $x^9 + x^5 + 1$), convolutiecodering (constraint length 7, moedercode R = 1/4, generatoren 133, 171, 145, 133 octaal), puncturing (het weglaten van codebits volgens vaste patronen PI = 1 … 24) en tijdinterleaving over 16 CIF's (384 ms). Daarna volgen frequentie-interleaving en D-QPSK. De ontvanger keert deze stappen om; de Viterbi-decoder corrigeert de bitfouten.

Het **beschermingsniveau** bepaalt de coderingssnelheid en daarmee de robuustheid:

Profiel	Code rate	CU per 8 kbit/s	Gebruik
EEP 1-A	1/4	12	zeer robuust, weinig capaciteit
EEP 2-A	3/8	8	robuust (bv. mobiele dekking)
EEP 3-A	1/2	6	meest gebruikt voor DAB+ audio
EEP 4-A	3/4	4	veel capaciteit, minder robuust
EEP 1-B … 4-B	4/9 … 4/5	27 … 15 per 32 kbit/s	voor bitrates in stappen van 32 kbit/s
UEP 1 … 5	≈ 0,34 … 0,75	tabel (64 profielen)	klassiek DAB (MPEG Layer II)

2.4 FIC en FIG's

De FIC wordt niet tijd-geïnterleaved en is daardoor snel, maar ook kwetsbaarder voor korte storingen. Elke FIB heeft een CRC-16; het **FIB-foutpercentage** is dan ook een directe maat voor de ontvangstkwaliteit van de FIC. De belangrijkste FIG's: 0/0 (ensemble-ID, CIF-teller), 0/1 (subkanalen), 0/2 (services en componenten), 0/9 (land, tijdzone), 0/10 (datum en tijd), 0/13 (toepassingen zoals SlideShow), 0/17 (programmatype), 0/18 en 0/19 (aankondigingen), 0/21 (frequentie-informatie), 1/0 en 1/1 (labels) en 2/x (UTF-8-labels).

2.5 DAB+ audio (ETSI TS 102 563)

DAB+ gebruikt HE-AAC v2 met frames van 960 samples. De audio-units (AU's) worden per 120 ms samengevoegd tot een **audio-superframe** dat over vijf logische frames (5 × 24 ms) wordt verdeeld. Een superframe is beschermd met:

- een **Fire code** over de kop (synchronisatie en audioparameters);
- **Reed-Solomon RS(120,110)** met virtuele byte-interleaving: per pakket van 120 bytes kunnen 5 foute bytes gecorrigeerd worden;
- een **CRC-16 per AU**; een AU met een CRC-fout wordt door de decoder verborgen (concealment), wat hoorbaar kan zijn als een korte onderbreking of vervorming.

In het begin van elke AU kan een data-stream-element met **PAD** (Programme Associated Data) staan: F-PAD (2 bytes) en X-PAD met de Dynamic Label (DLS), DL Plus en MOT-objecten (SlideShow).

2.6 Enkelfrequentienetwerk (SFN) en TII

In een SFN zenden alle zenders van het netwerk exact hetzelfde signaal op dezelfde frequentie, gesynchroniseerd op GPS. De ontvanger ziet de zenders als echo's. Zolang het tijdsverschil tussen de sterke signalen binnen het guard-interval (246 µs, overeenkomend met 73,8 km padverschil) blijft, versterken ze elkaar. Signalen die later binnenkomen dan het guard-interval veroorzaken inter-symboolinterferentie: **SFN-zelfinterferentie**.

Om de zenders toch uit elkaar te houden, zendt elke zender in het nulsymbool een **TII**-signaal (Transmitter Identification Information): een kam van draaggolfparen die de **SubId** (0–23) bepaalt, waarvan 4 van de 8 paren actief zijn volgens het **MainId**-patroon (0–69). De DAB+ Analyzer decodeert deze codes en schat per zender de vertraging, zodat elke piek in de impulsrespons aan een zender gekoppeld kan worden.

3. Installatie, ontvangers en licentie

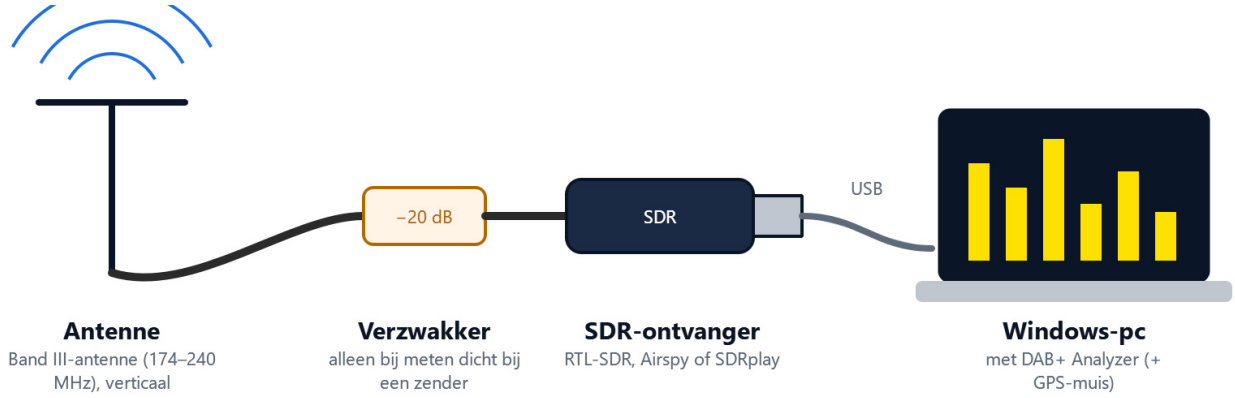
3.1 Systeemeisen

Onderdeel	Eis
Besturingssysteem	Windows 10 of 11, 64-bit
Processor	4 kernen aanbevolen; het programma decodeert alle services van het ensemble parallel
Geheugen	8 GB aanbevolen
USB	USB 2.0 of hoger; sluit de ontvanger bij voorkeur direct op de pc aan (geen passieve hub)
Audio	geluidskaart of hoofdtelefoon voor het afluisteren
Internet	voor activatie en de wekelijkse licentiecontrole (offline tot 30 dagen)

3.2 Ondersteunde ontvangers

Ontvanger	Eigenschappen	Opmerkingen
RTL-SDR (RTL2832U)	8-bit ADC, 2,048 MS/s; tuners R820T/R828D, E4000, FC0012/13, FC2580	Betaalbaar. Beperkt dynamisch bereik (≈ 45 dB): sterke buurkanalen kunnen de meting beïnvloeden. De WinUSB-driver installeert het programma zelf.
Airspy R2 / Mini	12-bit ADC, 2,5 MS/s (R2) of 3 MS/s (Mini), herbemonsterd naar 2,048 MS/s	Beter dynamisch bereik en selectiviteit; breder spectrum zichtbaar. Vereist de WinUSB-driver voor Airspy.
SDRplay RSP	14-bit ADC	Vereist de SDRplay API 3 van sdrplay.com. Ondersteuning wordt in een volgende versie geactiveerd.
Simulator	intern gegenereerd DAB+-ensemble	Vier services met echte HE-AAC-audio, DLS/DL+, SFN met twee TII-zenders; voor training en demonstratie.

3.3 Opstelling



Figuur 3.1 — Meetopstelling

- Gebruik een antenne voor Band III (174–240 MHz), verticaal gepolariseerd. Voor representatieve metingen hoort de antenne buiten of op een vaste referentiehoogte; binnenshuis is het niveau 10–20 dB lager en sterk plaatsafhankelijk.
- Meet u dicht bij een zender of via een meetkoppelaar, plaats dan een verzwakker (10–30 dB) om oversturing te voorkomen. Het lampje **ADC CLIP** geeft oversturing aan.
- Voor mobiele metingen sluit u een GPS-muis (NMEA, USB of seriëel) aan; zie hoofdstuk 17.

3.4 Installeren



1. Steek de ontvanger in een USB-poort.
2. Start **DABAnalyzer-Setup-<versie>.exe** en volg de stappen. Beheerdersrechten zijn niet nodig.
3. Vink aan het einde **RTL-SDR-dongledriver installeren** aan als u een RTL-SDR gebruikt. Windows vraagt dan eenmalig om toestemming. U kunt de driver later ook vanuit het programma installeren.
4. Start de DAB+ Analyzer. Bij de eerste start verschijnt het licentievenster.

3.5 Licentie



Figuur 3.2 — Licentievenster

De licentie is gekoppeld aan de pc via een **Machine ID**, opgebouwd uit drie kenmerken (Windows-installatie, moederbord, systeemschijf). Zolang twee van de drie gelijk blijven, blijft de licentie geldig, ook na het vervangen van één onderdeel.

Situatie	Handeling
Uitproberen	Vul naam en e-mailadres in en kies **Start 48-hour trial**. Per pc is één proefperiode mogelijk.
Gekochte licentie	Vul de licentiecode in (formaat **DABA-XXXXX-XXXXX-XXXXX-XXXXX**) en kies **Activate license key**.
Andere pc	Kies op de oude pc **Release this PC**, of activeer de code direct op de nieuwe pc; verhuizen kan maximaal drie keer per 90 dagen.
Zonder internet	De licentie wordt wekelijks online ververst en werkt tot 30 dagen offline.

Proefversie

Tijdens de proefperiode staat in de kopbalk in geel **TRIAL VERSION** met de resterende tijd en de link **Buy license ›**, die de bestelpagina op broadcastsoftware.nl opent. Bij het opstarten en als er nog 24 en nog 4 uur over zijn verschijnt een korte herinnering; die laat de meting gewoon doorlopen. Meetrapporten uit de proefversie krijgen het watermerk TRIAL VERSION. Na het activeren van een licentiecode verdwijnen melding en watermerk direct.

4. Het hoofdvenster



Figuur 4.1 — Hoofdvenster (tabblad Overview) met genummerde onderdelen

#	Onderdeel	Functie
1	Frequentie	Afgestemde frequentie in MHz. Typ de cijfers (bv. 227360) en druk op `Enter`; `↑` / `↓` of het scrollwiel gaan naar het volgende/vorige DAB-kanaal.
2	Kanaal	Kanaalkeuze 5A … 13F; de frequentie volgt automatisch.
3	Ensemble	Ensemblelabel, ensemble-ID (EId), land en de gekozen service (▸).
4	Niveau	Ingangsniveau (dBm of dBµV) met CNR en MER; '(uncalibrated)' zolang er geen absolute kalibratie is uitgevoerd.
5	Lampjes	Status van synchronisatie, FIC, audio, TII, GPS, fouten en oversturing (zie tabel).
6	Tandwiel	Opent **Settings** (hoofdstuk 16).
7	Navigatie	Kies het scherm; de knop van het actieve scherm is blauw.
8	Meters	De meetwaarden van het actieve scherm.
9	Ensemble-info	Synchronisatiestatus, ensemble, aantal services, datum/tijd uit FIG 0/10, BER, positie.
10	Services	Alle services met type, bitrate, bescherming, codec, audiostatus, BER en RS-fouten; dubbelklik om te luisteren.
11	Statusbalk	Bron, verwerkte frames, DSP-belasting, overruns en (bij achterstand) backlog.

Statuslampjes

Lampje	Aan betekent
SYNC	OFDM-synchronisatie: nulsymbool en fasereferentie gevonden en gecontroleerd.
FIC	Alle FIB's van de laatste ≈ 10 s foutloos ontvangen.
AUDIO	De gekozen service wordt zonder fouten gedecodeerd (laatste 50 superframes).
DAB+ / DAB	Codec van de gekozen service: DAB+ (HE-AAC) of klassiek DAB (MPEG Layer II).
TII	Er is minstens één TII-zender gedetecteerd.
GPS	De GPS-ontvanger heeft een geldige positie (niet bij een handmatige positie).
ERRORS	Er zijn FIC-fouten of audiofouten in de gekozen service.
ADC CLIP	De ADC van de ontvanger wordt overstuurd; verlaag de versterking of plaats een verzwakker.

Statusbalk en DSP-belasting

De statusbalk toont de **DSP-belasting**: de rekentijd van de ontvanger als percentage van de signaalduur. Onder ≈ 70 % is er voldoende reserve. Komt de belasting boven 100 %, dan loopt de verwerking achter (**backlog**) en worden blokken overgeslagen (**overruns**); dat leidt tot kortstondig synchronisatieverlies en audiofouten die niet door de ontvangst komen. Sluit in dat geval andere zware programma's of gebruik een snellere pc.

5. Overview — de kerngrootheden



Figuur 5.1 — Overview met de acht kernmeters

Het tabblad Overview geeft in één oogopslag de toestand van het ontvangen ensemble. Hieronder per meter de definitie, de meetmethode en de interpretatie. Alle meters zijn alleen geldig bij **SYNC**.

5.1 RF-niveau

Het vermogen aan de antenne-ingang wordt bepaald uit het gemeten digitale vermogen (dBFS), de ingestelde versterking G van de tuner en een kalibratieconstante K:

$$P_{in}\ [\mathrm{dBm}] = P_{\mathrm{dBFS}} - (G - G_{cal}) + K \qquad U\ [\mathrm{dB\mu V}] = P\ [\mathrm{dBm}] + 107\ \ (50\ \Omega)$$

Zonder absolute kalibratie (hoofdstuk 18) gebruikt het programma een typische waarde per ontvangertype; het niveau is dan op ± 5–10 dB nauwkeurig en wordt als *uncalibrated* gemarkeerd. Het niveau omvat het hele ontvangen spectrum van ≈ 2 MHz; sterke buurkanalen tellen dus mee.

5.2 MER — Modulation Error Ratio

De MER is de verhouding tussen het vermogen van de ideale constellatiepunten en het vermogen van de foutvector. De DAB+ Analyzer bepaalt de MER **coherent**: uit de differentiële beslissingen wordt vanaf de fasereferentie het absolute zendsymbool $z_{l,k}$ gereconstrueerd, het kanaal $H_{l,k}$ wordt per draaggolf geschat met een glijdend gemiddelde over 9 symbolen, en

$$\mathrm{MER} = 10 \cdot \log_{10}\left(\Sigma\, |H \cdot z|^2 \,/\, \Sigma\, |Y - H \cdot z|^2 \right) \quad [\mathrm{dB}]$$

De MER omvat ruis, interferentie, fasefouten van zender én ontvanger en de onvolkomenheid van de kanaalschatting bij snel fading. In een vaste opstelling met een goed signaal meet u 25–30 dB; de MER-limiet van de ontvanger zelf ligt rond 30 dB (RTL-SDR) tot 35 dB (Airspy).

5.3 BER vóór Viterbi

De kanaal-bitfoutverhouding wordt gemeten door de uitvoer van de Viterbi-decoder opnieuw te coderen en te vergelijken met de harde beslissingen van de demodulator op de niet-gepuncturede posities. De meter toont de BER van de gekozen service (anders van de FIC), voortschrijdend over 4 s, in dB:

$$\mathrm{BER\ [dB]} = 10 \cdot \log_{10}(\mathrm{BER}) \qquad 10^{-2} = -20\ \mathrm{dB},\quad 5 \cdot 10^{-2} = -13\ \mathrm{dB},\quad 10^{-3} = -30\ \mathrm{dB}$$

De BER vóór Viterbi is een gevoelige, directe maat voor de marge tot uitval. Bij EEP 3-A (code rate 1/2) corrigeert de decoder foutloos tot ongeveer $3 \cdot 10^{-2}$ (−15 dB); rond $5 \cdot 10^{-2}$ … 10^{-1} (−13 … −10 dB) begint de audio te haperen. De meter kleurt geel boven −20 dB en rood boven −13 dB.

5.4 CNR — in-band draaggolf/ruisverhouding

Het ruisvermogen per draaggolf wordt gemeten in het **nulsymbool**, waarin geen nuttig signaal staat. Omdat het nulsymbool in de helft van de frames de TII-draaggolven bevat, wordt de mediaan genomen en omgerekend naar het gemiddelde (exponentiële verdeling: gemiddelde = mediaan / ln 2):

$$\mathrm{CNR} = 10 \cdot \log_{10}\left((P_{\mathrm{data}} - N) / N \right), \quad N = \mathrm{mediaan}(|N_k|^2) / \ln 2$$

De CNR bevat dus de thermische ruis én stationaire interferentie in de band (bv. van buurkanalen die door de ontvanger heen komen), maar niet de SFN-zelfinterferentie, omdat die in het nulsymbool niet aanwezig is. Een hoge CNR met een lage MER wijst daarom op SFN-problemen, fasruis of snel fading.

5.5 SNR — differentieel

De SNR is de signaal/ruisverhouding van de differentiële QPSK-constellatie, zoals de decoder die ziet (na correctie van de gemeenschappelijke fasefout per symbool en normalisatie per draaggolf). Omdat bij differentiële demodulatie de ruis van twee symbolen optelt, geldt bij witte ruis SNR ≈ MER − 3 dB. Een groter verschil wijst op tijdsvariatie van het kanaal (Doppler bij rijden).

5.6 FIC-foutpercentage, audiofouten en frequentie-offset

Meter	Definitie	Beoordeling
FIC error rate	Percentage FIB's met CRC-fout over de laatste 100 frames (≈ 9,6 s)	0 % is normaal; > 1 % geeft een merkbaar trager opbouwen van de servicelijst, > 5 % instabiele ontvangst
Audio errors	Percentage AU's met CRC-fout van de gekozen service, over 4 s	0 % = foutloos; enkele procenten = hoorbare tikjes; > 5 % = onbruikbaar
Frequency offset	Totale frequentie-afwijking die de ontvanger corrigeert	Omvat de zenderafwijking én de kristalfout van de ontvanger. Na PPM-kalibratie (hoofdstuk 16) resteert de zenderafwijking; DAB-zenders zijn GPS-gestuurd en wijken < 1 Hz af

5.7 Indicatieve drempels

De benodigde CNR hangt af van de beschermingsklasse en van het kanaal. De onderstaande waarden zijn indicatief (statisch, witte ruis); voor mobiele ontvangst met fading en Doppler is 5–8 dB meer nodig.

Profiel	Code rate	CNR-drempel (≈)	BER-drempel vóór Viterbi (≈)
EEP 1-A	1/4	3–4 dB	$1{\cdot}10^{-1}$ (−10 dB)
EEP 2-A	3/8	5–6 dB	$7{\cdot}10^{-2}$ (−12 dB)
EEP 3-A	1/2	7–8 dB	$4{\cdot}10^{-2}$ (−14 dB)
EEP 4-A	3/4	11–12 dB	$1{\cdot}10^{-2}$ (−20 dB)

5.8 Servicetabel

De tabel onderaan toont alle services met type (DAB+, DAB, data), bitrate, beschermingsprofiel, codec, audiostatus (**OK**/**ERROR**), de BER vóór Viterbi van het subkanaal en het aantal niet-corrigeerbare RS-pakketten sinds het afstemmen. Alle audioservices worden continu gedecodeerd, zodat u de foutstatus van het hele ensemble tegelijk ziet. Dubbelklik op een service om te luisteren en naar het tabblad Service te gaan.

6. Spectrum



Figuur 6.1 — RF-spectrum met shoulder-markers, MER en fasefout per draaggolf

6.1 RF-spectrum

Het spectrum is een vermogensdichtheidsspectrum (Welch-methode, Blackman-Harris-venster, 4096 punten) van het ruwe ingangssignaal, rond de afgestemde frequentie en relatief ten opzichte van het gemiddelde in-band-niveau (0 dB). Met **Max hold** wordt het maximum vastgehouden, handig om kortstondige storers te vangen. De gestippelde lijnen markeren de bandranden (± 768 kHz), de rode lijnen de grens van het shouldergebied.

6.2 Shoulders en bezette bandbreedte

$$\text{Shoulder}_{L,R} = \bar{P}_{\text{in-band}}(|f| < 700\ \text{kHz}) - \bar{P}(0{,}80\ \text{MHz} < |f| < 0{,}97\ \text{MHz}) \quad [\text{dB}]$$

De shoulders geven aan hoe ver het signaal net buiten de band is onderdrukt. Bij een meting via een koppelaar aan de zender is dit een maat voor de lineariteit van de eindtrap (intermodulatie); typische waarden na het maskerfilter zijn > 40 dB. Off-air wordt de meting begrensd door de ruis en het dynamisch bereik van de ontvanger. De **bezette bandbreedte (99 %)** is de bandbreedte waarbinnen 99 % van het vermogen valt; voor DAB ≈ 1,54 MHz.

> **LET OP**
>
> Een verhoogd niveau buiten de band (shoulders van slechts enkele dB) duidt off-air meestal op sterke **buurkanalen** die bij de RTL-SDR door het ontbreken van een steil IF-filter en door aliasing in de meting terechtkomen. Dat verlaagt de CNR. Een ontvanger met betere selectiviteit (Airspy) of een bandfilter lost dat op.

6.3 MER per draaggolf

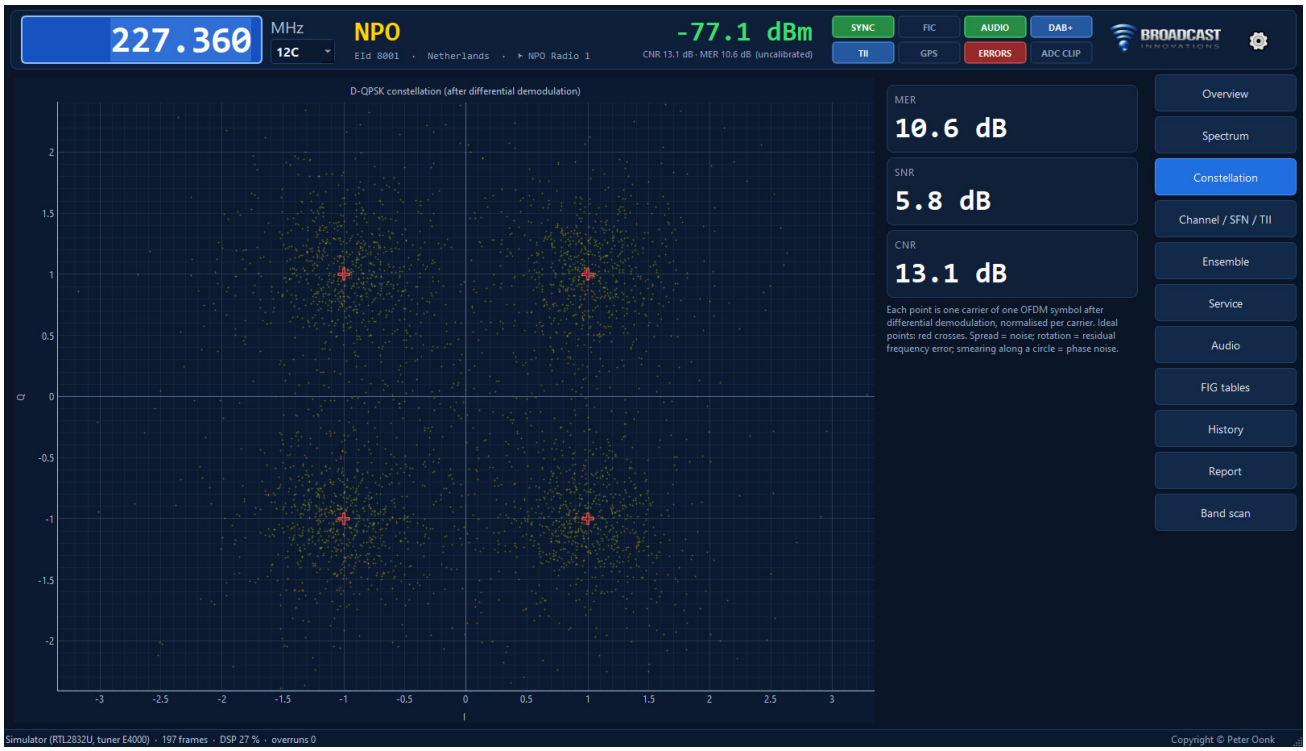
De MER per draaggolf (lineair gemiddeld over de tijd) laat zien waar in de band de kwaliteit afneemt. Typische patronen:

Patroon	Waarschijnlijke oorzaak
Smalle dip op enkele draaggolven	Smalbandige storer (CW, spurious, schakelende voeding)
Regelmatige dips (rimpel)	Multipath/SFN: frequentieselectieve fading; afstand tussen de dips = $1/\Delta\tau$
Aflopend naar de bandranden	Filterflanken (zender, ontvanger) of groepslooptijdvervorming
Helling over de band	Interferentie van één buurkanaal (aliasing) of scheve frequentierespons
Overal laag	Lage CNR, faseruis, SFN-zelfinterferentie of frequentiefout

6.4 Fasefout per draaggolf

De rms-fasefout (in graden) van de differentiële constellatie per draaggolf. Bij een perfect signaal is deze 0°; bij ruis neemt hij toe volgens ≈ arctan(1/√SNR). Een uniforme verhoging zonder verlaagde CNR wijst op faseruis van zender of ontvanger.

7. Constellation



Figuur 7.1 — D-QPSK-constellatie

Elk punt is één draaggolf van één OFDM-symbool na differentiële demodulatie: $d_{l,k} = Y_{l,k} \cdot Y^*_{l-1,k}$, gecorrigeerd voor de gemeenschappelijke fasefout per symbool en genormaliseerd per draaggolf. De ideale punten liggen op (±1, ±1), aangegeven met rode kruisjes. Rechts staan MER, SNR en CNR groot weergegeven.

Beeld	Betekenis
Compacte, ronde wolken	Goede ontvangst; de grootte van de wolk is een maat voor de SNR
Wolken lopen in elkaar over	SNR < 6 dB; de Viterbi-decoder werkt aan de grens
Gedraaid (rotatie)	Restfrequentiefout of snelle faseverandering (Doppler)
Uitgesmeerd langs een cirkelboog	Faseruis (oscillator van zender of ontvanger)
Wolken uitgerekt naar het midden	Diepe frequentieselectieve fading (SFN, multipath)

8. Channel / SFN / TII



Figuur 8.1 — Impulsrespons met genummerde TII-zenders en timingfout

8.1 Kanaalimpulsrespons

Uit het fasereferentiesymbool berekent het programma de kanaalimpulsrespons (CIR):

$$h(\tau) = \mathrm{IFFT}\left\{ Y_{PRS,k} \cdot P^{*}_{k} \cdot w_{k} \right\}$$

waarbij P_k de bekende PRS-fase is en w_k een Hann-venster over de 1536 draaggolven dat de zijlobben onderdrukt. De tijdresolutie is 1/2,048 MHz = 0,49 µs (≈ 146 m padverschil); door interpolatie worden pieken op ≈ 0,1 µs nauwkeurig gelokaliseerd. De curve is voortschrijdend gemiddeld en genormaliseerd op de sterkste piek (0 dB, 0 µs).

De tabel **SFN peaks** toont de sterkste pieken (tot −30 dB) met de vertraging ten opzichte van de sterkste, het bijbehorende padverschil (0,2998 km/µs) en het niveau. De gele stippellijn markeert het einde van het guard-interval (246 µs).

> **BELANGRIJK**
>
> Pieken boven −20 dB buiten het guard-interval veroorzaken SFN-zelfinterferentie. Het meetrapport beoordeelt dat als FAIL. Oorzaken: een zender met een verkeerde vertraging, een verre zender met overreikend bereik (troposferische condities) of een te groot zendernet zonder aangepaste vertragingen.

8.2 TII-decodering

In de frames met TII bepaalt het programma voor elk van de 24 kammen en 8 draaggolfparen de energie in het nulsymbool. Een zender wordt herkend als vier paren van één kam significant boven de ruis uitkomen; het patroon geeft het MainId, de kam het SubId. Het niveau is relatief ten opzichte van de sterkste TII-zender. 'ambiguous' betekent dat meer dan vier paren van een kam actief zijn, doordat twee zenders dezelfde SubId gebruiken.

De **vertraging per zender** volgt uit de fase van zijn eigen TII-draaggolven: het vertragingsspectrum wordt per frame berekend (4× opgevulde IFFT, resolutie 0,12 µs) en niet-coherent gemiddeld over de laatste 24 TII-frames (≈ 4,6 s). Ligt de vertraging binnen 3 µs van een piek in de impulsrespons, dan krijgt die piek het nummer van de zender.

8.3 Zendernummers en zenderlijst

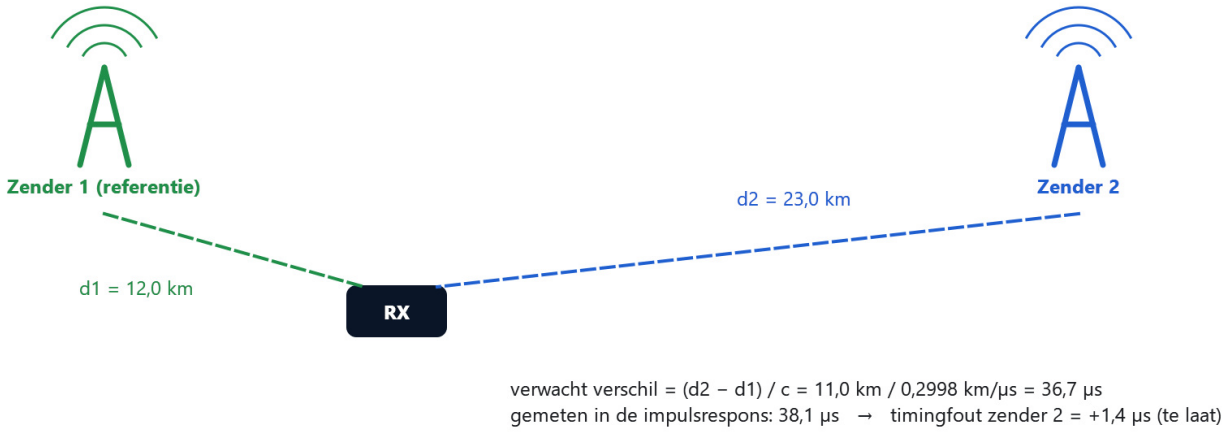
Elke gedetecteerde zender krijgt een nummer (1 = sterkste TII), dat met de naam boven zijn piek in de grafiek staat. Met **Load transmitter list…** laadt u een zenderlijst als CSV-bestand (puntkomma als scheidingsteken, UTF-8):

```
MainId ; SubId ; naam ; kanaal ; lat ; lon
```

Kolom	Inhoud	Verplicht
MainId	0 … 69 (decimaal)	ja
SubId	0 … 23 (decimaal)	ja
naam	zendernaam of -locatie	ja
kanaal	bv. 12C; gebruikt als dezelfde TII-code in meerdere ensembles voorkomt	nee
lat, lon	zenderpositie in decimale graden (WGS84), bv. 52,2215 en 6,8937	voor de timingfout

De eerste vier kolommen zijn compatibel met de zenderlijst van de Audemat DAB Probe.

8.4 SFN-timingfout per zender



Figuur 8.2 — Bepaling van de timingfout van zender 2 ten opzichte van zender 1

Is de positie van de ontvanger bekend (GPS of handmatig, hoofdstuk 17) en staan de coördinaten van de zenders in de zenderlijst, dan berekent het programma per zender i:

$$\Delta\tau_{\text{verwacht},i} = (d_i - d_1) \,/\, c \qquad \Delta\tau_{\text{gemeten},i} = \tau_i - \tau_1 \qquad \text{timingfout}_i = \Delta\tau_{\text{gemeten},i} - \Delta\tau_{\text{verwacht},i}$$

met d de grootcirkelafstand (haversine, R = 6371 km) en c = 0,2998 km/µs. Zender 1 (de sterkste TII) is de referentie. Een **positieve** timingfout betekent dat zender i later uitzendt dan zender 1 (of zender 1 te vroeg): verlaag de vertraging van zender i met dat bedrag of verhoog die van zender 1. De waarde staat in de TII-tabel (groen < 1 µs, geel < 5 µs, rood ≥ 5 µs), boven de piek in de grafiek ('Δt') en in het meetrapport.

Werkwijze voor het afregelen van een SFN

1. Laad een zenderlijst met coördinaten van alle zenders in het netwerk.
2. Meet op een punt waar twee zenders met vergelijkbare sterkte binnenkomen (verschil < 10 dB) en er weinig andere reflecties zijn; bij voorkeur buiten, met GPS.
3. Lees de timingfout af nadat de waarde stabiel is (≈ 10 s). Herhaal op een tweede meetpunt: komen beide uitkomsten overeen (± 1 µs), dan is het een zenderfout en geen lokaal multipath-effect.
4. Pas de statische vertraging van de betreffende zender aan en controleer opnieuw.

ACHTERGROND

De nauwkeurigheid van de timingfout wordt bepaald door de TII-vertraging (≈ 0,5 µs bij een goed signaal), de positie (GPS ≈ 5 m ≈ 0,02 µs, verwaarloosbaar) en het meetpunt: een sterke reflectie dicht bij een zenderpiek kan de schatting enkele tienden µs verschuiven. Bij een zwak signaal (TII > 16 dB onder de draaggolf, dus onder de ruis bij CNR < 15 dB) worden geen of onbetrouwbare TII-codes gevonden.



Figuur 8.3 — Impulsrespons van een echt ensemble (12C) zonder zenderlijst

9. Ensemble



Figuur 9.1 — Ensemble-informatie, CU-kaart en services

Onderdeel	Bron en betekenis
Label / short label	FIG 1/0 (of FIG 2/0 in UTF-8); het korte label volgt uit het character flag field
Ensemble ID	FIG 0/0; de eerste hexadecimale positie is de Country Id
ECC / country	FIG 0/9; ECC + Country Id identificeren het land (ETSI TS 101 756)
Local time offset	FIG 0/9; afwijking van UTC in halve uren
Date / time	FIG 0/10; UTC-tijd van het ensemble, doorgeteld sinds ontvangst
CIF count	FIG 0/0; teller modulo 5000 (CIF's van 24 ms)
Capacity	Som van de subkanaalgroottes uit FIG 0/1, van de 864 beschikbare CU
Alarm announcements	Alarm-flag uit FIG 0/0

De **CU-kaart** toont de plaats en grootte van elk subkanaal in het MSC. Vrije ruimte rechts is ongebruikte capaciteit. De **servicetabel** combineert FIG 0/2 (service-componenten), 0/1 (subkanaal en bescherming), 0/5 (taal), 0/13 (toepassingen), 0/17 (programmatype) en 0/18 (aankondigingen). Onderaan staat de frequentie-informatie uit FIG 0/21: alternatieve frequenties van hetzelfde ensemble, andere ensembles en FM-frequenties (RDS PI) van dezelfde services.

10. Service



Figuur 10.1 — Service met DLS, DL Plus, SlideShow en foutentellers

Kies links een audioservice. Rechts staan het servicelabel, de **Dynamic Label** (DLS, de lopende tekst) en de **DL Plus**-velden (bv. artiest en titel). Daaronder de SlideShow en de servicegegevens.

10.1 SlideShow

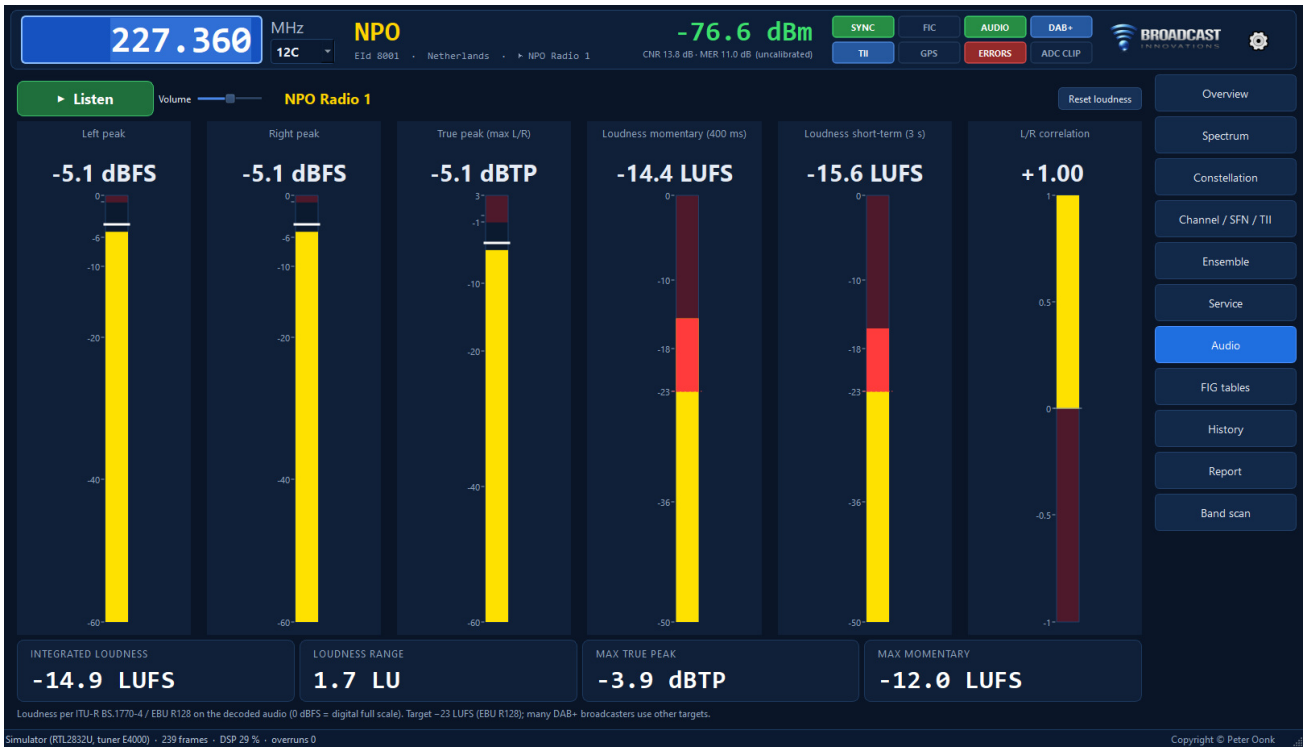
De SlideShow (MOT, EN 301 234) wordt in de X-PAD als reeks segmenten verzonden. Een afbeelding verschijnt pas als alle segmenten van header en body foutloos ontvangen zijn; segmenten van herhalingen worden samengevoegd. Onder het beeld staat de voortgang van de volgende afbeelding ('receiving next image: 15 of 20 segments'). Bij slechte ontvangst komt een afbeelding soms nooit compleet binnen, terwijl de audio nog redelijk te volgen is.

10.2 Foutentellers

Teller	Definitie
Channel BER (before Viterbi)	Kanaal-BER van dit subkanaal sinds het afstemmen, in dB en wetenschappelijk
Superframes OK	Superframes met geldige Fire code / totaal (DAB+)
RS corrected bytes	Door Reed-Solomon gecorrigeerde bytes; > 0 is normaal, het RS-mechanisme werkt
RS uncorrectable packets	RS-pakketten met meer dan 5 foute bytes / totaal; leiden meestal tot AU-fouten
AU CRC errors	Audio-units met CRC-fout / totaal; deze worden verborgen en zijn hoorbaar
Fire code errors	Superframes waarvan de kop onbruikbaar was (verlies van superframe-synchronisatie)

Met **Reset counters (retune)** worden alle tellers op nul gezet. Voor klassiek DAB (MPEG Layer II) zijn de RS- en Fire-code-tellers niet van toepassing.

11. Audio



Figuur 11.1 — Audiometingen van de gekozen service

Met ▸ **Listen** speelt u de gekozen service af. Een jitterbuffer van 0,5 s vangt de schoksgewijze aanvoer van audio op (één superframe per 120 ms); het geluid loopt daardoor ≈ 0,5 s achter op de meting. Verloren superframes worden met AAC-concealment opgevuld.

Meting	Definitie
Left / Right peak	Hoogste samplewaarde per 100 ms, in dBFS (0 dBFS = digitale volle schaal)
True peak	Piekwaarde na 4× overbemonstering (benadering ITU-R BS.1770-4 annex 2), in dBTP
Loudness momentary	K-gewogen luidheid over 400 ms, in LUFS
Loudness short-term	K-gewogen luidheid over 3 s, in LUFS
Integrated loudness	Gegate luidheid sinds de laatste reset (absolute gate −70 LUFS, relatieve gate −10 LU)
Loudness range (LRA)	Spreiding van de short-term-waarden, 10e tot 95e percentiel (EBU Tech 3342)
L/R correlation	Correlatiecoëfficiënt tussen links en rechts: +1 mono, 0 breed stereo, < 0 fasefout

EBU R 128 schrijft −23 LUFS integrated voor met een maximale true peak van −1 dBTP. Veel DAB+-

zenders hanteren een hoger doel (−18 … −16 LUFS); stel het doel voor het rapport in bij **Report limits**. **Reset loudness** start de integratie opnieuw.

12. FIG tables



Figuur 12.1 — Alle ontvangen FIG-typen met gedecodeerde inhoud

Het tabblad toont elk ontvangen FIG-type met naam, aantal ontvangen exemplaren en de herhaalsnelheid per seconde. Klap een regel open voor de gedecodeerde inhoud; onderaan staat de ruwe inhoud van het laatst ontvangen exemplaar in hexadecimaal. Hiermee controleert u de signalering van het multiplex, bijvoorbeeld of FIG 0/0 elke 96 ms wordt herhaald, of labels en programmatypen kloppen en welke frequentie-informatie wordt uitgezonden.

FIG	Inhoud	Typische herhaling
0/0	Ensemble-ID, change flags, CIF-teller	elk frame (≈ 10/s)
0/1	Subkanalen: startadres, grootte, bescherming	≥ 1/s
0/2	Services en componenten (ASCTy: 63 = DAB+, 0 = DAB)	≥ 1/s
0/9, 0/10	Land/tijdzone, datum en tijd	≈ 1/s
0/13	Gebruikerstoepassingen (SlideShow, SPI, TPEG, …)	≥ 0,1/s
0/17	Programmatype per service	≥ 0,1/s
0/18, 0/19	Aankondigingsondersteuning en -schakeling	0/19 tijdens een aankondiging 10/s
0/21	Frequentie-informatie	≥ 0,1/s
1/0, 1/1	Ensemble- en servicelabels	≥ 0,1/s

13. History



Figuur 13.1 — Meetgeschiedenis en gebeurtenissenlog

Elke seconde wordt een meetpunt opgeslagen; de geschiedenis omvat maximaal één uur. Met **Time span** kiest u 5, 15, 30 of 60 minuten. De grafieken tonen het RF-niveau, CNR (geel), MER (groen) en SNR (blauw), het FIC-foutpercentage (oranje), audiofouten van de gekozen service (rode blokjes) en de frequentie-offset gedeeld door 10 (paars). Na afstemmen wordt de geschiedenis gewist.

Export CSV… schrijft alle punten met tijd, niveau, CNR, MER, SNR, frequentie-offset, FIC-fouten, audiofouten, loudness en GPS-positie naar een CSV-bestand (puntkomma als scheidingsteken), geschikt voor Excel of GIS-software.

Gebeurtenissenlog

Gebeurtenis	Betekenis
Sync — OFDM sync acquired / lost	Synchronisatie gevonden of verloren (bv. bij een fade of afstemmen)
Sync — carrier slip … corrected	De ontvanger stond één draaggolf (1 kHz) verkeerd en heeft dat hersteld
Sync — FIC lost while locked	Geen geldige FIB's ondanks synchronisatie; het programma synchroniseert opnieuw
FIC — ensemble configuration changed	Herconfiguratie van het multiplex (andere subkanalen of services)
Receiver — connection lost, reconnecting	De verbinding met de ontvanger viel weg en wordt hersteld
Tune / Service	Afgestemd op een frequentie, of een andere service gekozen

14. Report — het meetrapport



Figuur 14.1 — Meetrapport met PASS/FAIL per parameter

1. Stem af op het ensemble en kies de service die u voor de audiometing wilt gebruiken.
2. Vul locatie, meetpersoon en eventueel een opmerking in en kies de duur (30 s tot 5 min).
3. Klik op **Start measurement**. Het programma verzamelt vijf keer per seconde alle meetwaarden.
4. Na afloop verschijnt de beoordeling. Met **Save PDF report…** slaat u het rapport op; naast de PDF komt een JSON-bestand met alle meetwaarden.

Beoordeling

Groep	Parameter	Criterium
RF	RF level (min/gem/max)	minimum ≥ grens (bij een ongekalibreerd niveau alleen informatief)
RF	CNR, MER, SNR	minimum gedurende de meting ≥ grens
RF	Frequency offset	|offset| ≤ grens (na PPM-kalibratie)
RF	Shoulders, bezette bandbreedte	informatief
Multiplex	OFDM synchronisation	nooit synchronisatie verloren
Multiplex	FIC error rate	maximum ≤ grens

Services	Audiofouten per service	percentage tijd met fouten ≤ grens
SFN	Impulsresponspieken	geen piek > −20 dB buiten het guard-interval
SFN	TII-zenders	informatief, met timingfout als de positie bekend is
Audio	Integrated loudness, true peak	binnen doel ± tolerantie; true peak ≤ grens

De grenzen stelt u in bij **Settings** → **Report limits**. Het eindoordeel is **FAIL** zodra één parameter faalt. Het PDF-rapport bevat de kop met logo, het eindoordeel, de resultatentabel, detailtabellen (ensemble, services, TII) en grafieken van spectrum, impulsrespons, MER per draaggolf en het verloop van CNR/MER/SNR.

15. Band scan

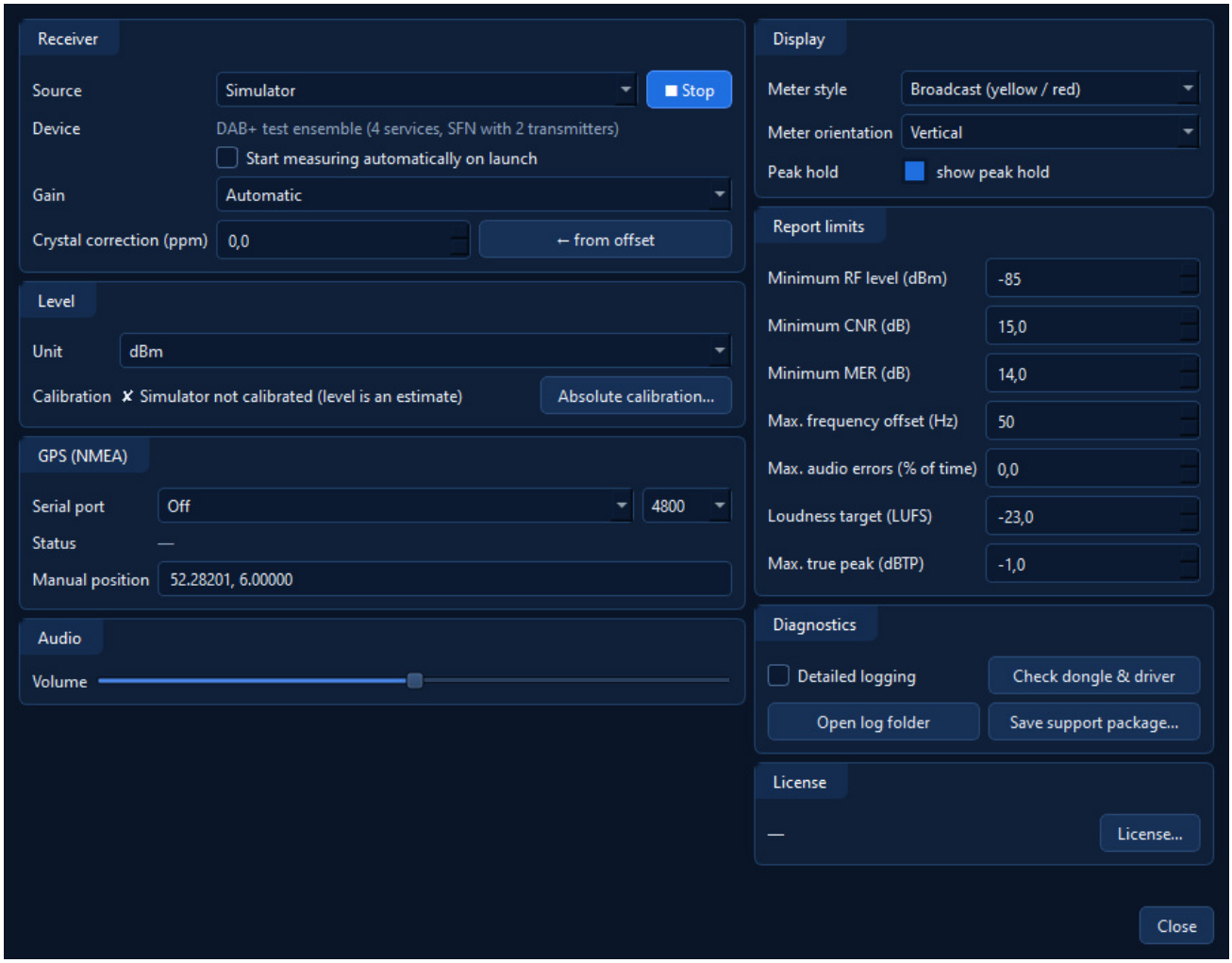


Figuur 15.1 — Bandscan over Band III

Start band scan stemt achtereenvolgens af op alle kanalen 5A … 13F. Per kanaal wordt minimaal 1,2 s gemeten; vindt de ontvanger synchronisatie, dan wacht hij tot het ensemblelabel binnen is (maximaal 3,5 s). De tabel toont per kanaal het niveau, synchronisatie, ensemble, EId, aantal services, CNR en MER. Dubbelklik op een kanaal om erop af te stemmen; na de scan stemt het programma af op het sterkste gevonden ensemble.

> **TIP**
>
> Het niveau in de scan is het totale vermogen in het kanaal, dus ook ruis en eventuele buurkanalen. Beoordeel een kanaal daarom op CNR en MER, niet op het niveau alleen.

16. Settings



Figuur 16.1 — Instellingenvenster

Instelling	Uitleg
Source	Ontvanger: RTL-SDR, Airspy, SDRplay of Simulator; met de knop start/stopt u de meting.
Start measuring automatically on launch	Bij het opstarten direct meten met de laatste instellingen.
Gain	Automatisch of een vaste tunerversterking. De automatische regeling begint op maximale versterking en schakelt pas terug bij oversturing (clipping of > −8 dBFS gedurende drie blokken).
Crystal correction (ppm)	Correctie van de kristalfout van de ontvanger. Met ← **from offset** wordt deze uit de gemeten offset van het huidige ensemble berekend (DAB-zenders zijn GPS-gestuurd).
Unit	dBm of dBµV (50 Ω).
Absolute calibration…	Niveaukalibratie met een signaalgenerator (hoofdstuk 18).

Meter style / orientation / peak hold	Weergave van de meters, gelijk aan de FM Broadcast Analyzer.
Serial port / baud	COM-poort en snelheid van de NMEA-GPS (meestal 4800 of 9600 baud).
Manual position	Vaste positie (lat, lon) voor de SFN-timingfout als er geen GPS is.
Report limits	Grenswaarden voor het meetrapport (hoofdstuk 14).
Volume	Afluistervolume.
Detailed logging	Uitgebreid diagnoselog (voor ondersteuning).
Check dongle & driver	Controleert of de RTL-SDR gevonden wordt en de WinUSB-driver heeft.
Open log folder / **Save support package…**	Diagnoselog openen of een zip met log, instellingen en systeeminformatie maken (zonder licentiegegevens).
License…	Licentiestatus bekijken, code activeren of de pc vrijgeven.

17. Mobiel meten en GPS

De DAB+ Analyzer is ontworpen voor metingen onderweg. Aandachtspunten:

- **GPS**: sluit een NMEA-ontvanger aan (USB-GPS-muis met virtuele COM-poort). Kies bij **Settings → GPS (NMEA)** de poort en de snelheid. De zinnen RMC en GGA worden gebruikt (positie, snelheid, aantal satellieten). Het lampje **GPS** brandt bij een geldige fix.
- **Handmatige positie**: voor een vaste meetplek zonder GPS vult u **Manual position** in (bv. 52.2215, 6.8937).
- **Meetgeschiedenis met positie**: elke seconde wordt de positie opgeslagen; met **Export CSV…** krijgt u een dekkingsrit met niveau, CNR, MER en fouten per locatie.
- **Slaapstand**: tijdens het meten voorkomt het programma dat Windows in slaapstand gaat (het scherm mag wel uit). Stel op een laptop wel in dat het dichtklappen van het deksel de pc niet in slaapstand zet.
- **Verbindingsherstel**: valt de ontvanger weg (USB-storing), dan verbindt het programma na 2 s opnieuw; pas na drie mislukte pogingen binnen een minuut verschijnt een melding.
- **Antenne**: gebruik een magneetvoetantenne voor Band III op het dak van de auto. Een antenne binnen de auto kost 10–15 dB.

> **LET OP**
>
> Bij rijden varieert het kanaal snel (Doppler, fading). De MER en SNR dalen daardoor, ook bij een voldoende hoog niveau. Beoordeel mobiele dekking op foutvrije audio en FIC, en vergelijk metingen alleen bij gelijke snelheid.

18. Niveaukalibratie

Voor absolute niveaumetingen kalibreert u de ontvanger eenmalig met een signaalgenerator. Dat kan met een DAB-signaal of met een ongemoduleerde draaggolf binnen het kanaal.

1. Sluit de generator via een kabel met bekende demping aan op de ontvanger.
2. Stel een niveau in dat duidelijk boven de ruis ligt maar niet oversturt, bv. −50 dBm aan de ingang.
3. Start de meting en wacht tot het niveau stabiel is.
4. Kies **Settings** → **Absolute calibration…** en vul het werkelijke niveau aan de ingang in (generatorniveau min kabeldemping).

De kalibratie geldt per ontvangertype en wordt gecorrigeerd voor de versterkingsstand. Bij de RTL-SDR verschilt de werkelijke versterking per stand enigszins van de nominale waarde; voor de hoogste nauwkeurigheid kalibreert u bij de versterking waarmee u gaat meten (een vaste **Gain**).

19. Meetpraktijk en interpretatie

De onderstaande tabel helpt bij het herkennen van veelvoorkomende situaties aan de combinatie van meetwaarden.

Waarneming	Waarschijnlijke oorzaak	Actie
Lage CNR, lage MER, hoge BER	Te zwak signaal	Betere antenne(plek), voorversterker met laag ruisgetal, kortere kabel
CNR redelijk, MER veel lager	SFN-zelfinterferentie, faseruis, snel fading	Impulsrespons bekijken op pieken buiten het guard-interval; constellatie op boogvorming
Shoulders van enkele dB, hellende MER per draaggolf	Sterk buurkanaal (ontvangeroversturing of aliasing)	Verzwakker of bandfilter; ontvanger met betere selectiviteit
Smalle dip in MER per draaggolf	Smalbandige storer	Max hold in het spectrum; storingsbron opsporen
FIC-fouten bij goede CNR	Impulsstoring (FIC heeft geen tijdinterleaving)	Storingsbron in de buurt (voedingen, ontstekingen)
Audiofouten bij één service, andere OK	Lagere bescherming (bv. EEP 4-A) of hogere bitrate	Beschermingsprofiel in Ensemble vergelijken
Periodiek kortstondig synchronisatieverlies	Diepe fades, USB-onderbrekingen of te hoge DSP-belasting	Gebeurtenissenlog en statusbalk (DSP, overruns) controleren
Twee pieken met timingfout > 1 µs op meerdere plekken	Verkeerde statische vertraging van een zender	Vertraging van die zender corrigeren (hoofdstuk 8.4)

20. Problemen oplossen

Probleem	Oplossing
'No RTL-SDR dongle was found'	Andere USB-poort proberen; geen passieve hub; **Check dongle & driver** gebruiken.
'Driver needed'	Laat het programma de WinUSB-driver installeren (beheerdersrechten nodig), of gebruik Zadig. Steek de dongle daarna opnieuw in.
Ontvanger is in gebruik	Sluit andere SDR-programma's (SDR#, SDR++, welle.io, de FM Broadcast Analyzer).
'searching…' blijft staan	Klopt het kanaal? Is er een ensemble (Band scan)? Antenne aangesloten?
Hakkelende audio	Ontvangstkwaliteit controleren (Audio errors, BER). Bij goede ontvangst: DSP-belasting en overruns in de statusbalk.
Geen slideshow	Ondersteunt de service SlideShow (Ensemble, kolom Apps)? Bij fouten komen afbeeldingen niet compleet binnen; zie de voortgang onder het beeld.
Geen TII-zenders	Het TII-signaal ligt 16 dB onder de draaggolf; bij CNR < 15 dB is het niet detecteerbaar. Niet alle zenders zenden TII uit.
Frequentie-offset ≈ −2 kHz	Kristalfout van de RTL-SDR (≈ −10 ppm); corrigeer met ← **from offset**.
Meting stopt na een tijd	Slaapstand of energiebeheer van de USB-poort; zie hoofdstuk 17.
Licentiefout	Internetverbinding controleren; bij een nieuwe pc de code opnieuw activeren.
Ondersteuning	Maak met **Save support package…** een zip en stuur die naar uw leverancier.

21. Specificaties en normen

Eigenschap	Waarde
Standaard	DAB / DAB+, transmissiemode I, Band III (174–240 MHz), kanalen 5A–13F
Bemonstering	2,048 MS/s complex (Airspy/SDRplay: herbemonsterd)
Synchronisatie	nulsymbooldetectie, PRS-correlatie; frequentiebereik ± 40 kHz; timing op het eerste pad
Audio	HE-AAC v2 (TS 102 563), MPEG-1/2 Layer II (TS 103 466)
Multiplex	alle FIG's van type 0, 1 en 2; EEP-A/B en UEP; stream audio
PAD	DLS (EN 300 401 7.4.5.2), DL Plus (TS 102 980), MOT SlideShow (EN 301 234, TS 101 499)
Impulsrespons	resolutie 0,49 µs, bereik −250 … +750 µs, dynamiek ≈ 30–40 dB
TII	MainId 0–69, SubId 0–23; vertraging ≈ 0,5 µs nauwkeurig bij goed signaal
Loudness	ITU-R BS.1770-4, EBU R 128, EBU Tech 3341/3342
Meetgeschiedenis	1 punt per seconde, maximaal 1 uur; CSV-export
Rapport	PDF (A4) en JSON

Normen

- ETSI EN 300 401 — Radio Broadcasting Systems; DAB to mobile, portable and fixed receivers
- ETSI TS 102 563 — DAB+ audio coding (HE-AAC v2)
- ETSI TS 101 756 — Registered tables (tekensets, landen, PTY, toepassingen)
- ETSI TS 103 466 — DAB audio coding (MPEG Layer II)
- ETSI EN 301 234 — Multimedia Object Transfer (MOT); ETSI TS 101 499 — SlideShow
- ETSI TS 102 980 — Dynamic Label Plus
- ITU-R BS.1770-4, EBU R 128, EBU Tech 3341 en 3342 — luidheid

Software van derden

De DAB+ Analyzer gebruikt o.a. Qt/PySide6 (LGPL), NumPy, SciPy, pyqtgraph, de Fraunhofer FDK AAC-bibliotheek (FDK-licentie), mpg123 (LGPL), libairspy (BSD), libusb (LGPL) en het afzonderlijke programma rtl_tcp (GPL). Het volledige overzicht staat in THIRD-PARTY-LICENSES.txt in de programmamap.

22. Begrippenlijst

Begrip	Betekenis
AU	Access Unit: één AAC-frame (960 samples per kanaal)
BER	Bit Error Ratio: fractie foute bits, hier vóór de Viterbi-decoder
CIF	Common Interleaved Frame: 24 ms MSC-data, 864 CU
CIR	Channel Impulse Response: kanaalimpulsrespons
CNR	Carrier-to-Noise Ratio: draaggolf/ruisverhouding in de band
CU	Capacity Unit: 64 bits van een CIF
D-QPSK	Differentiële QPSK: informatie in de faseverandering tussen opeenvolgende symbolen
DLS / DL Plus	Dynamic Label Segment: lopende tekst; DL Plus: gelabelde delen (artiest, titel)
EEP / UEP	Equal / Unequal Error Protection: beschermingsprofielen
EId / SId	Ensemble Identifier / Service Identifier
FIB / FIG	Fast Information Block (32 bytes met CRC) / Fast Information Group (inhoud van een FIB)
FIC / MSC	Fast Information Channel / Main Service Channel
Guard-interval	Cyclisch voorvoegsel van een OFDM-symbool (246 µs); vangt echo's op
LUFS / LU	Loudness Units relative to Full Scale / Loudness Unit (1 LU = 1 dB)
MER	Modulation Error Ratio
MOT	Multimedia Object Transfer: transport van bestanden (SlideShow)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAD (F-PAD, X-PAD)	Programme Associated Data, meegestuurd in de audio
PRS	Phase Reference Symbol: bekend referentiesymbool na het nulsymbool
Puncturing	Weglaten van codebits om de coderingssnelheid te verhogen
RS	Reed-Solomon-code RS(120,110) van DAB+
SFN	Single Frequency Network: enkelfrequentienetwerk
SNR	Signal-to-Noise Ratio, hier van de differentiële constellatie
TII	Transmitter Identification Information: MainId en SubId in het nulsymbool
True peak	Werkelijke piekwaarde van het analoge signaal, benaderd door overbemonstering

Viterbi	Maximum-likelihood-decoder voor convolutiecodes