

Productie





Agentschap Telecom
Ministerie van Economische Zaken

LOFAR en Windmolenpark Drentse Monden

Onderzoek naar co-existentie

Agentschap Telecom

2016-07





Inhoud

1. Inleiding, onderzoeksvraag en aanpak.
2. Verandering van het EM milieu.
3. Robuustheid van de LOFAR kern.
4. Mitigatie mogelijkheden.
5. Conclusie.

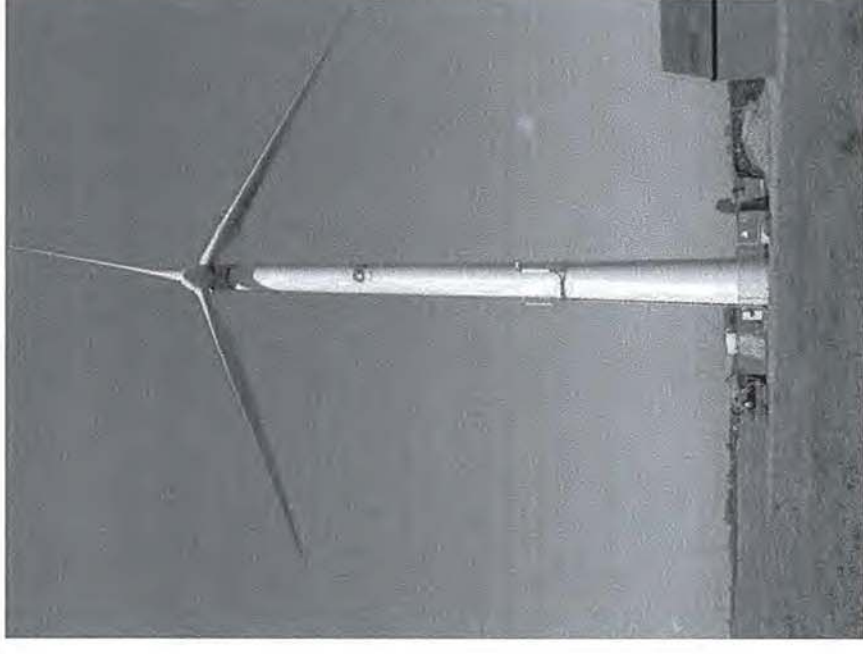
1. Inleiding, onderzoeksvraag en aanpak

Co-existentie:

Radio astronomie en windturbines
Aanwezigheid windturbines kan
EM milieu veranderen.



Daardoor degradatie LOFAR
mogelijk.





1. Inleiding, onderzoeksvraag en aanpak

Onderzoek Agentschap Telecom

Onderzoeksvragen:

1. Wat is de te verwachten verstoring van het elektromagnetische milieu ter plaatse van de LOFAR kern?
2. Wat is het effect van deze verstoring op het LOFAR ontvangstsysteem?
3. Wat zijn de mogelijke mitigatie maatregelen?

1. Inleiding, onderzoeksvraag en aanpak

Methodiek (aanpak)

- ☒ Identificatie stoormechanismen.
- ☒ Berekenen niveau stoorveldsterkte als gevolg van het windturbinepark.
- ☒ Bepaling van de gevoeligheid voor storing ('robuustheid') van LOFAR?
- ☒ Beide uitdrukken in dezelfde eenheid [$\text{dB}\mu\text{V}/(\text{m.Hz})$].
- ☒ Beoordelen: is het verschil significant?
- ☒ Onderzoeken: zijn er mitigatiemogelijkheden?



2. Verandering van het EM milieu

Bijdrage verstoring EM-milieu per stoormechanisme Veldsterkte in dBµV/(m.Hz)	par.	LOFAR frequenties				Ge-modu-leerd*
		"Low Band"		"High Band"		
		30 MHz	80 MHz	110 MHz	240 MHz	
Referentie omgeving (ITU "Quiet Rural")		-55	-61	-67	-62	Nee
Galactische ruis (ITU)		-48	-51	-56	-51	Nee
1. EMC uitstraling (alle windmolens samen)	4.1	-42				Ja
2. Reflecteren stoorsignalen uit de omgeving (door alle windmolens) ->	4.2	-84				Ja
3. Reflecteren van ongewenste uitstralingen vanuit het windturbinepark zelf	4.3	verwaarloosbaar				Ja
4. Reflecteren van DAB+ omroepsignalen	4.4	n.v.t.		n.v.t.		Ja
5. Blokkeren en afbuigen van gewenste signalen	4.5	verwaarloosbaar				Ja
6. Reflecteren van signalen uit de ruimte	4.6	niet gekwantificeerd				Ja
7. Ontlading door wrijvingsverschijnselen	4.7	niet onderzocht				Nee
8. Stoorsignalen die zich verspreiden over het elektriciteitsnet	4.8	niet gekwantificeerd				Nee

* gemoduleerd door de rotatie van de rotorbladen van de windturbines



2. Verandering van het EM milieu

Belangrijkste stoorbronnen

- EMC uitstraling van de windturbine zelf.
- Reflectie via de windturbine (van stoorbronnen elders).

De EMC uitstraling van de windturbine zelf is dominant.

EM stoorveldsterkte -42 dBuV/(m.Hz)



2. Verandering van het EM milieu

Belangrijkste stoorbronnen

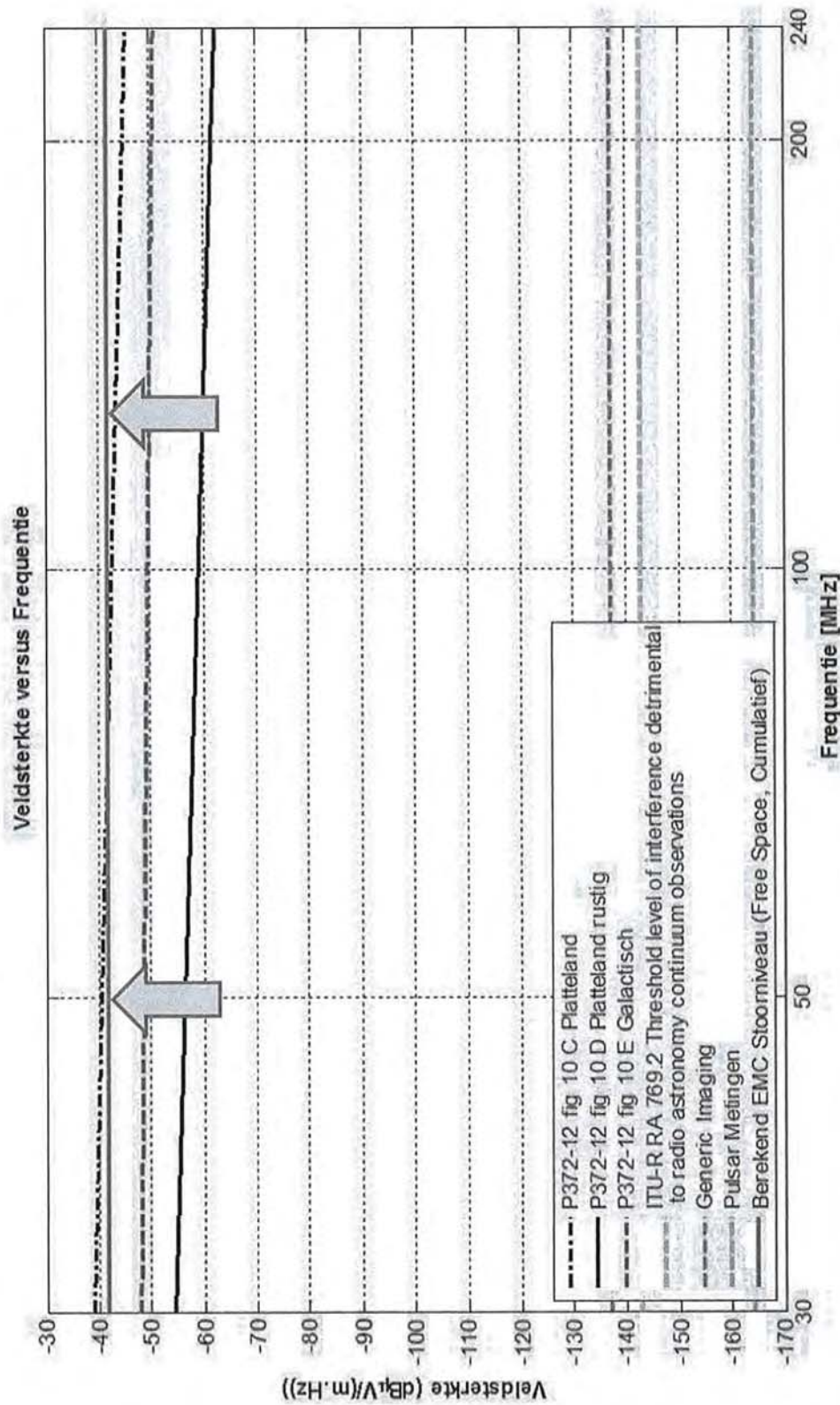
De EMC uitstraling van de windturbine zelf is dominant.

Wat hebben we onderzocht?

- ✓ Uitgaande van EMC norm EN55011 berekend hoe groot de veldsterkte aan de rand van de LOFAR kern is, met twee verschillende propagatiemodellen:
 - het 'free space' model en
 - het 'Modified Hata' model (zie Annex A van het rapport).
- ✓ Vergelijking emissies met ruisniveaus volgens ITU norm.



2. Verandering van het EM milieu





3. Robuustheid van de LOFAR kern

Bijzonder ontvangst systeem, extreme gevoeligheid.
Geen kernexpertise Agentschap Telecom. Aanpak:

- Literatuurstudie.
- Gegevens van ASTRON.
- Eigen doorrekeningen daarvan (kritische check gegevens).
- Verificatie door ASTRON.

Gevoeligheid voor verstoringen bij de verschillende soorten waarnemingen.

Minimale niveau bepaald op: -164 dBuV/(m.Hz)



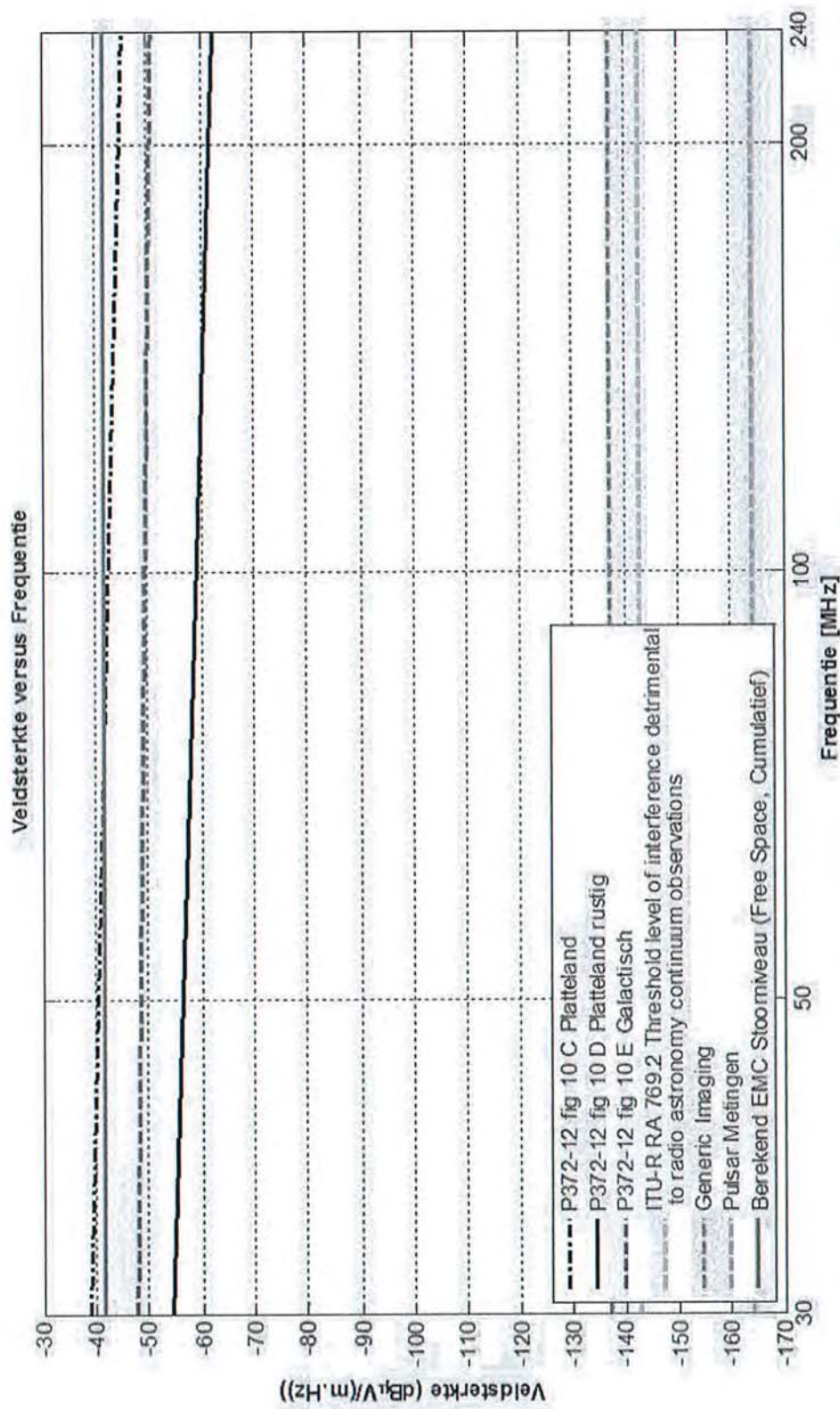
3. Robuustheid van de LOFAR kern

Kritische ruisvloer voor verschillende typen onderzoek

Soort meting	Typering	Tijd [uren]	Kritische ruisvloer [dBμV/(m.Hz)]
Generiek imaging	Imaging	10	-137
EoR	Imaging met lange integratietijd	1000	-164
Buffer board dump	Imaging met korte integratietijd, uitwerking achteraf	Geen exacte gegevens bekend	Geen exacte gegevens bekend
Pulsar meten	Onderzoek gedrag roterende sterren: fluctuerende signalen detecteren.	10	-164



3. Robuustheid van de LOFAR kern





3. Robuustheid van de LOFAR kern

Berekende EM storing op LOFAR kern:	-42 dB μ V/(m.Hz)
Correctie voor lage hoek	-35 dB
Correctie propagatiemodel:	-20 dB
Correctie voor niet constante karakter van de storing:	-10 dB
Totaal:	<u>-107 dBμV/(m.Hz)</u>
Nodig:	-164 dBuV/(m.Hz)

LOFAR systeem zou met **57 dB** verbeterd moeten worden om geen degradatie te ondervinden.



4. Mitigatie mogelijkheden

In LOFAR zelf

Uitfilteren, weg-rekenen, alternatieve onderzoek strategieën toepassen. LOFAR zit hiervoor aan de grens, het is nl. hun kernactiviteit $\Rightarrow$ Geen substantiële reducties te verwachten.

Extern

Reductie van EMC vanuit turbines:

15 dB

Inschatting totaal van de andere denkbare mitigaties:

5 dB

Totaal:

20 dB

Dit betreft een ruwe inschatting, maar duidelijk niet toereikend om 57 dB te overbruggen.

5. Conclusie

1. Wat is de te verwachten verstoring van het elektromagnetische milieu ter plaatse van de LOFAR kern?

De verwachte verstoring door EMC uitstralingen is significant.

2. Wat is het effect van deze verstoring op het LOFAR ontvangststelsel?

De verwachte verstoring is zodanig dat significante degradatie van LOFAR is te verwachten (zeker voor bepaalde typen van onderzoek).

3. Wat zijn de mogelijke mitigatie maatregelen?

De beschikbare mitigatie mogelijkheden zijn onvoldoende effectief om tot co-existentie te leiden.

Raster voor voorblad

Agentschap Telecom
Ministerie van Economische Zaken





Agentschap Telecom
Ministerie van Economische Zaken

Raster voor andere slides



Agentschap Telecom
Ministerie van Economische Zaken

Raster voor slides met 2 kopregels

Productie 

Wetenschappelijke impact LOFAR

Reactie op vragen van EZ i.r.t. Windpark bij LOFAR Core

From:

Date: 2016/08/22

Wat is de positie van het onderzoek door ASTRON op het gebied van pulsars en naar het vroegere heelal ten opzichte van onderzoeksinstellingen elders in de wereld, inclusief de instrumenten (bijvoorbeeld satellieten)?

"LOFAR is the gold standard"¹ LOFAR is een unieke radiotelescoop. Er is nu geen ander instrument op de wereld (of in de ruimte...) dat met deze enorme gevoeligheid kan meten. Ruim 500 astronomen wereldwijd hebben LOFAR al gebruikt sinds de opening van LOFAR in 2012, er wordt nu al twee zoveel meettijd aangevraagd als kan worden toegekend.

De unieke eigenschappen van LOFAR geven de onderzoeksgroepen bij ASTRON en de Nederlandse universiteiten een enorme voorsprong op hun collega's elders in de wereld. Een belangrijke reden voor Europese onderzoeksinstellingen om een LOFAR station te bouwen, was dat men zo kon aanhaken op onderzoek naar pulsars en het vroege heelal.

Er zijn andere experimenten waarmee onderzoek naar het vroege heelal wordt gedaan (MWA in Australië, Hera in de VS), maar deze buitenlandse faciliteiten niet toegankelijk voor Europese onderzoekers. Bovendien is LOFAR is speciaal ontworpen voor de detectie van de zgn Epoch of Reionisation (extreme gevoeligheid, stabiliteit van elektronica, geografische spreiding, frequentiebereik).

Door de directe toegang tot LOFAR trekt ASTRON onderzoekers uit de wereldtop (zie de diverse evaluaties van ASTRON). Alle leidende Europese groepen in het onderzoek naar pulsars en andere snel variërende verschijnselen gebruik maken van LOFAR als onmisbaar onderdeel van hun instrumentarium.

Wat is het relatieve belang van deze twee onderzoeken op LOFAR ten opzichte van de andere ASTRON-onderzoeken?

Pulsars en het vroege heelal vormen twee van de drie speerpunten van het wetenschappelijk programma van ASTRON.

Radioastronomisch onderzoek is een belangrijke pijler van het Nederlandse Strategisch Plan Sterrenkunde:

- Pulsars en andere snel variërende verschijnselen, ook van belang voor de detectie van Gravitatie-golven (ASTRON en Amsterdam)
- Het vroege heelal, in het bijzonder de detectie van de Epoch of Reionisation, een onderzoekslijn met "Nobel prize potential" (ASTRON en Groningen)
- Evolutie van sterren en materie door metingen van waterstofgas; LOFAR is hierbij van belang voor het karteren van de vroege fases (ASTRON, Leiden, Groningen).
- Detectie van kosmische deeltjes; met LOFAR kan de richting bepaald worden (Nijmegen)

NB: de wetenschappelijke excellentie van NOVA is mede gebaseerd op de beschikbaarheid van LOFAR als een in belangrijke mate Nederlandse faciliteit voor zowel wetenschappelijk onderzoek als technische ontwikkeling voor SKA.

¹

Annual Low Frequency Science Conference in Albuquerque.

vorig jaar op de

In het technisch-wetenschappelijk onderzoeksprogramma van ASTRON is LOFAR van essentieel belang voor ontwikkeling van SKA (zie verderop). Ook wordt het meten van Space Weather steeds belangrijker (in samenwerking met o.a. KNMI). Space Weather vereist dezelfde meetprincipes als pulsar onderzoek.

Wat is de gemiddelde tijdsduur van een onderzoek naar pulsars en naar het vroegere heelal op LOFAR? Moeten deze onderzoeken continue of discontinue worden gedaan?

LOFAR staat volcontinu aan, hetgeen jaarlijks 3200 uur netto goede waarneemuren voor de astronomen oplevert.

Grootschalige pulsar programma's hebben typisch een duur van vijf jaar. Voor het vinden van nieuwe pulsars wordt jaarlijks minimaal 500 uur gemeten. Voor het bestuderen van gevonden pulsars wordt jaarlijks ook zo'n 500 uur gemeten. Dit is een derde van de totale meettijd.

LOFAR is onderdeel van het lang-lopende European Pulsar Timing Array. In deze samenwerking wordt elke maand 48 uur gemeten, waarbij het van belang is dat dit met een grote regelmaat gebeurt en langjarig gebeurt. Het EPTA werkt nu vijftien jaar samen, en het programma zal naar verwachting in de periode 2020-2030 flankerend aan SKA benodigd zijn om bestudering van gravitatiegolven mogelijk te maken.

Het onderzoek naar het vroege heelal (Epoch of Reionisation) neemt de komende vier jaar ongeveer de helft van de waarneemtijd van LOFAR. Na filtering blijft daar 1000 uur aan hoge kwaliteit data van over (dit zijn 100 individuele metingen van 10 uur die elk op zich van hoge kwaliteit moeten zijn).

Wat is op dit moment de horizon met betrekking tot de onderzoeksprogramma's?

De lopende gefinancierde onderzoeksprogramma's (ERC, NWO etc) hebben een horizon van drie tot vijf jaar. Onderzoek met LOFAR is opgenomen in langjarige onderzoeksprogramma's van universitaire vakgroepen. Er zijn inmiddels dan ook nieuwe aanvragen ingediend door astronomen in Nederland en elders in Europa.

De kaders voor het Nederlandse LOFAR wetenschappelijk programma 2020-2030 zijn vorig jaar opgesteld en (op basis van competitie) opgenomen in de KNAW Agenda Grootschalige Onderzoeksfaciliteiten 2025. Dit is een brede wetenschappelijke erkenning dat LOFAR ook in de toekomst zorgt voor vernieuwend wetenschappelijk werk aan de grenzen van onze kennis én daarmee bijdraagt aan de internationale positionering van sterke Nederlandse onderzoeksgroepen.

Belangrijke elementen uit het LOFAR programma 2020-2030 zijn:

- In het onderzoek naar het vroege heelal de verschuiving van Epoch of Reionisation naar Cosmic Dawn
- In het pulsar onderzoek een verschuiving naar Fast Radio Bursts, Gravitatiegolven en Extreme Physics ("Had Einstein gelijk").
- Bestudering van stervorming in het vroege heelal.

Voor deze onderzoekslijnen zal financiering gezocht worden in eerste en tweede geldstroom (Universiteiten, missiebudget ASTRON, Vernieuwingsimpuls, ...) en in Brussel (ERC, thematische programma's).

Wat is het perspectief op een volgende generatie radiotelescoop (doorontwikkeling LOFAR technologie) en wat voor gevolgen heeft dat voor LOFAR in de provincie Drenthe?

LOFAR technologie wordt nu doorontwikkeld voor nieuwe Europese LOFAR stations en toepassingen als Space Weather. De International LOFAR Telescope wordt daarmee in feite een next-generation telescoop.

Met LOFAR technologie houdt Nederland ook een leidende positie in de Square Kilometre Array (SKA). Deze leidende rol voor Nederland is niet alleen essentieel voor de wetenschap maar ook om een Science Data Centrum te claimen en een leidende rol op big data/ICT binnen te halen, wat niet alleen voor astronomie van belang is maar ook voor andere wetenschappers en innovatie/economie Noord NL

Als SKA gebouwd wordt blijft het van belang over een eigen (Europese) faciliteit als LOFAR te beschikken op het Noordelijk halfrond. De inbedding van LOFAR in het Europese netwerk blijft uniek en onvervangbaar. Het wetenschappelijk programma zal dan verschuiven (zie boven). Hoewel ook dan gevoeligheid belangrijk blijft komen dan zaken naar voren als geografische spreiding van stations en de laagste frequenties waarop gemeten kan worden. In die opzichten zal LOFAR tot na 2030 uniek blijven.

Productie 

The LOFAR LBA Sky Survey: problems & solutions

5/4/16 - Zandvoort ann. Zee

The LOFAR LBA Survey

Beams: 4 (1 calibrator + 3 targets)

Mode: LBA_OUTER (4 deg FWHM) - SPARSE?

Obs time: 8 hrs per pointing - total pointings: 3170

Frequency coverage: 42 - 66 MHz

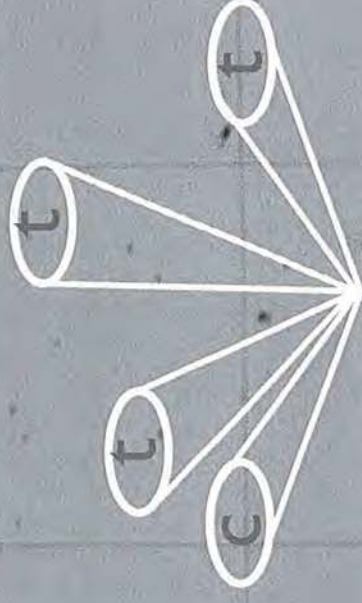
Resolution: 15" to 30"

Noise level: 5-10 mJy (DIE) - 1 mJy (expected DDE)

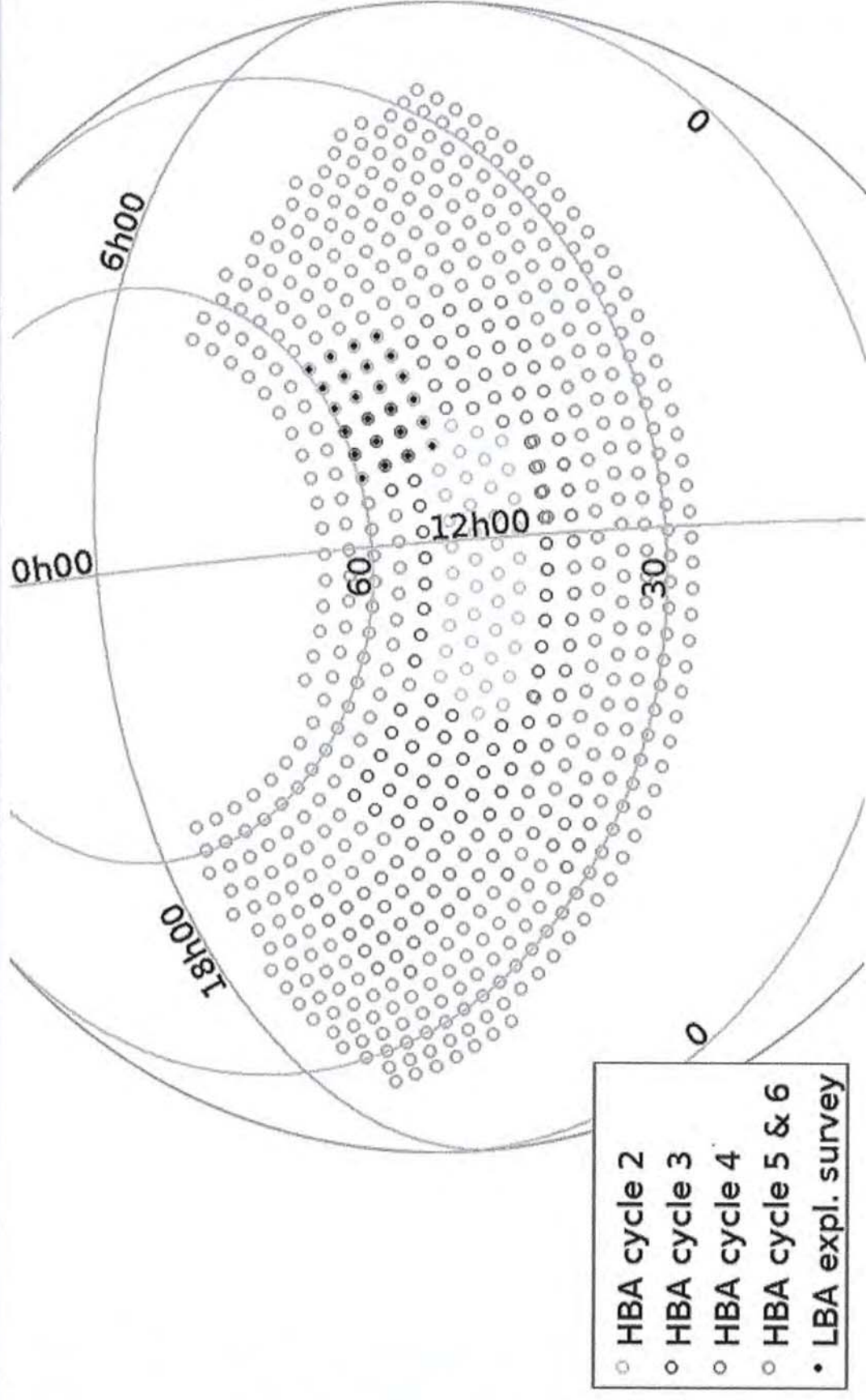
LoLSS - Vs - VLSS

10 - 20 times better noise

2 - 3 times better resolution



The LOFAR LBA Survey



The LBA Exploratory Survey: 24 pointings (160 sqdeg)

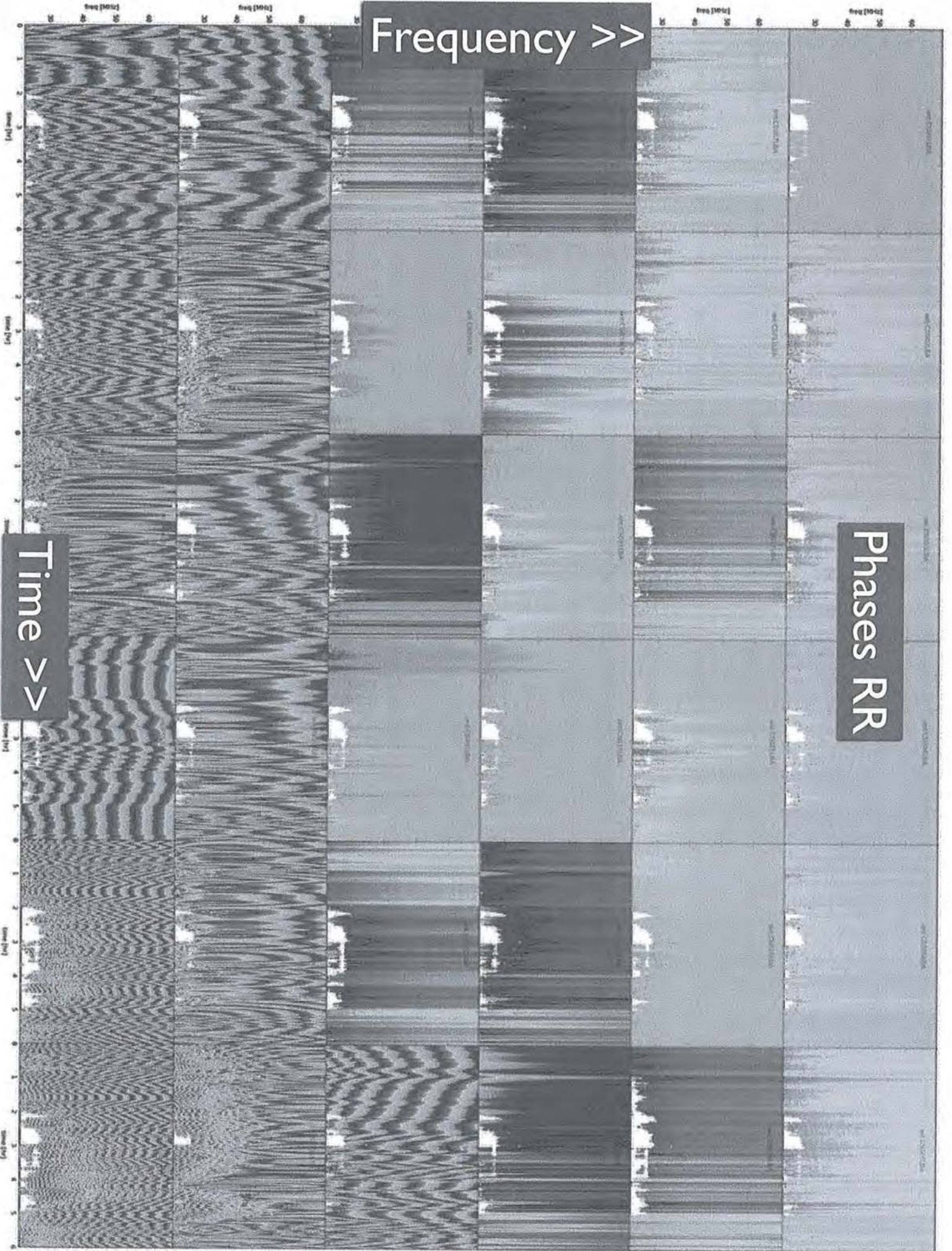
The LOFAR LBA Sky Survey (LoLss)

1. Understand the systematics
2. Figure out a strategy
3. Reduce the data

Frequency >>

Phases RR

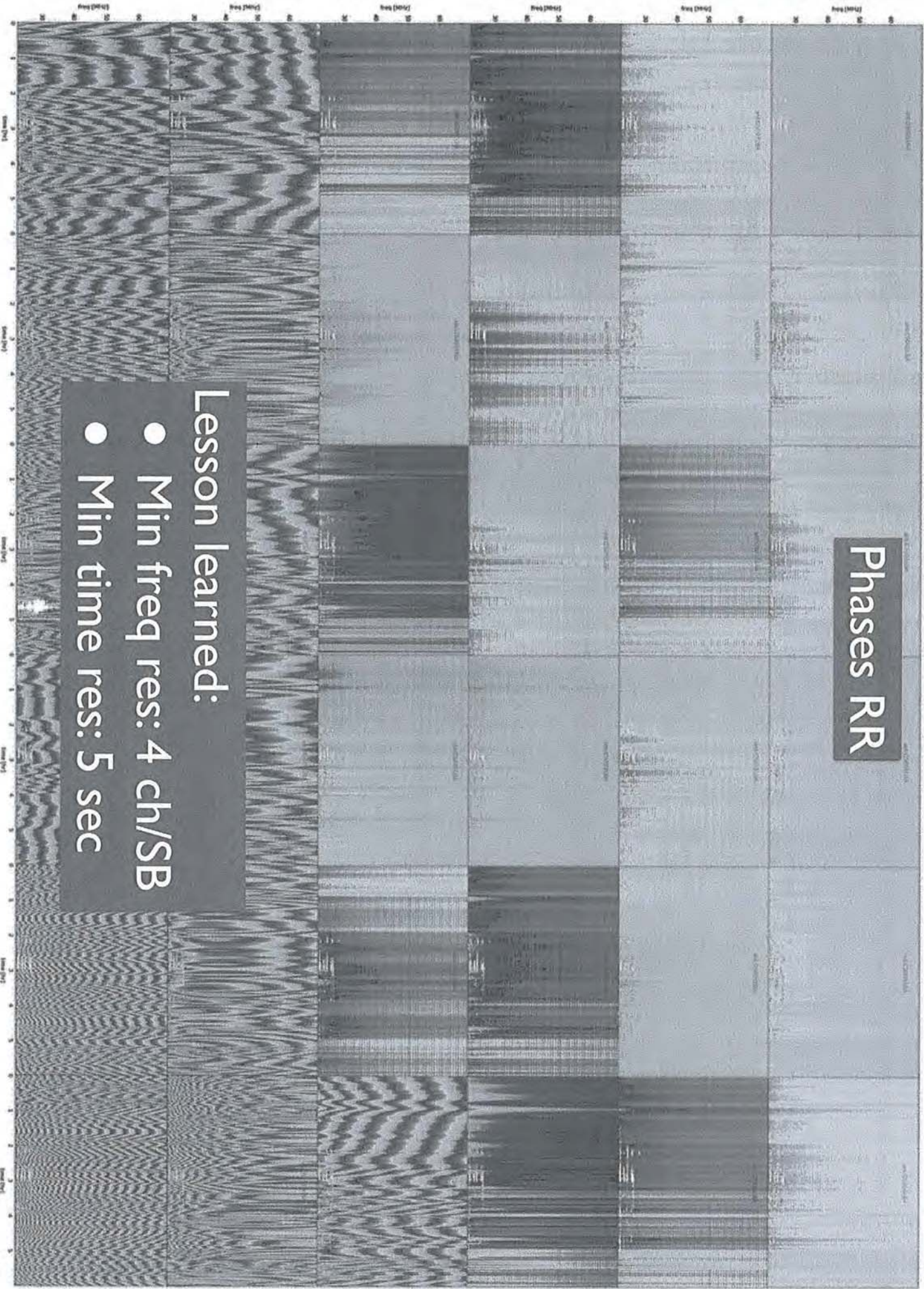
Time >>



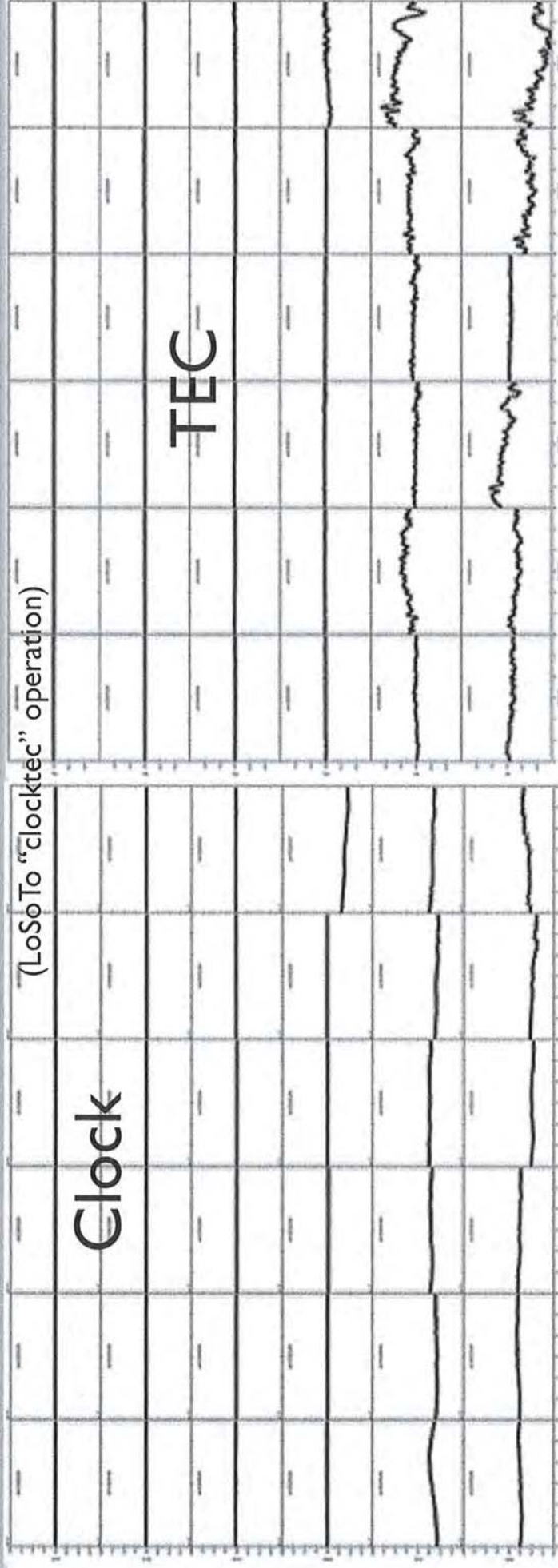
Phases RR

Lesson learned:

- Min freq res: 4 ch/SB
- Min time res: 5 sec



Clock/TEC separation



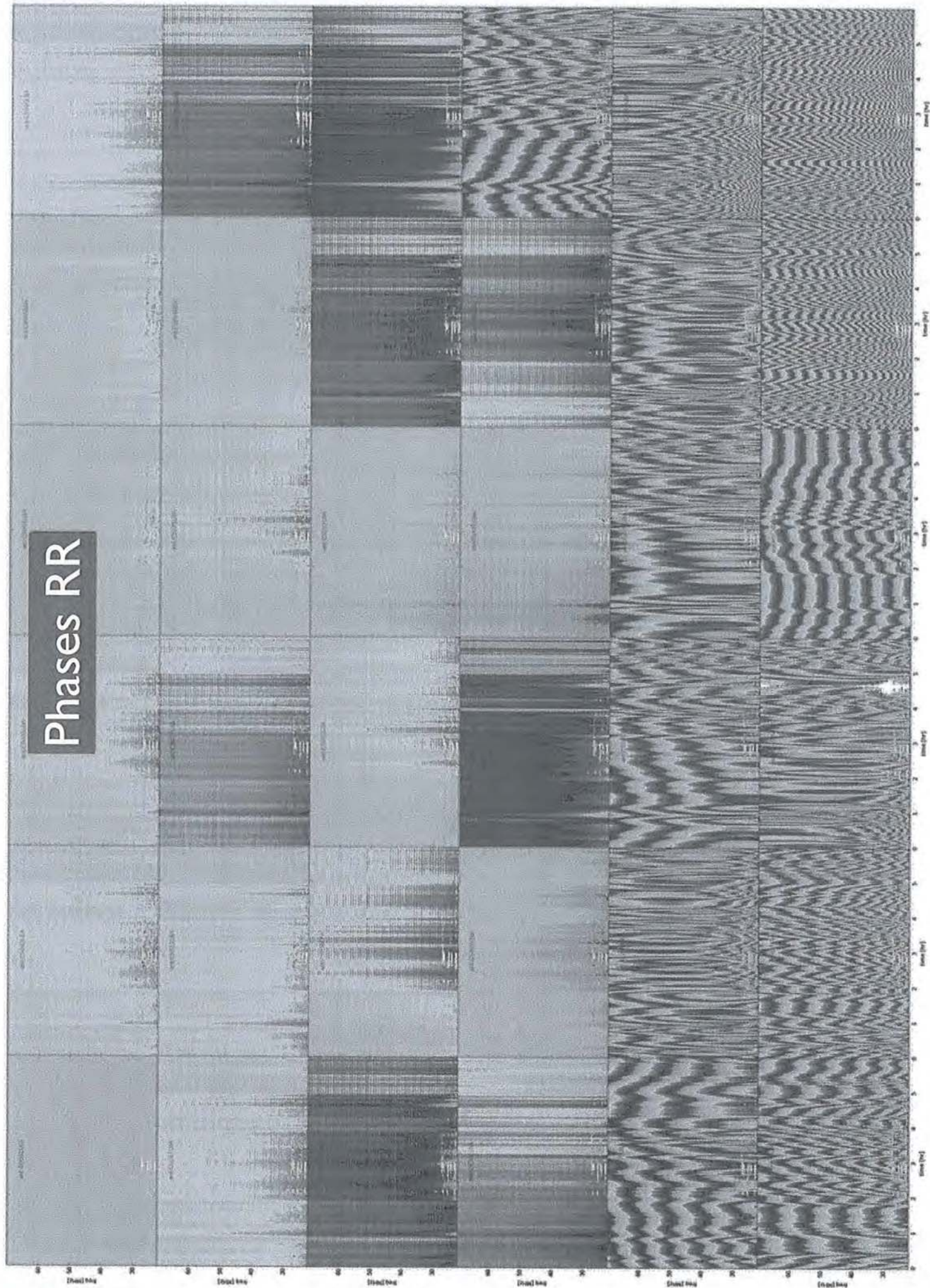
Lesson learned:

- we can do CT-sep in LBA, high quality data required

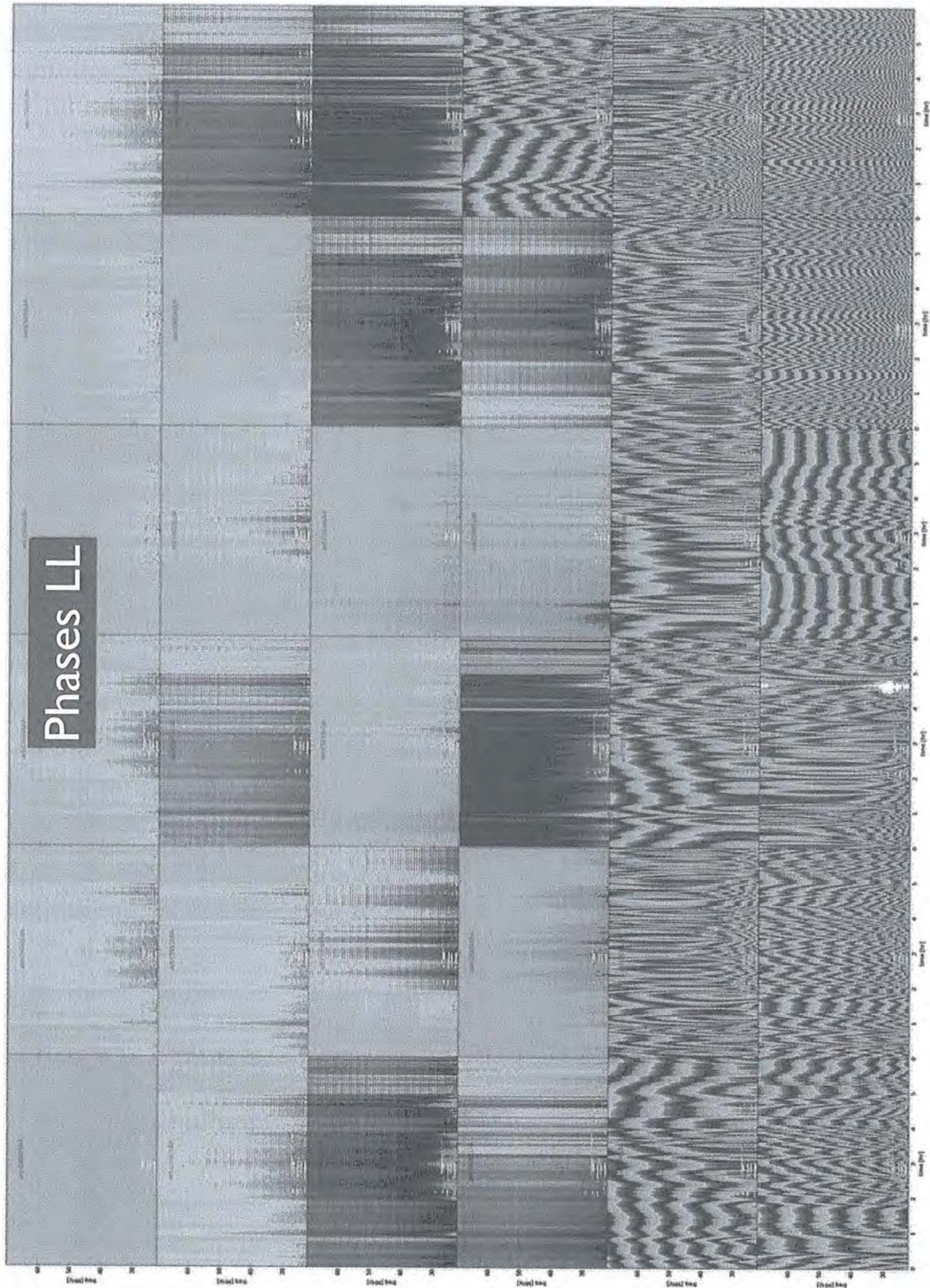


$$\Delta\theta = 2\pi f\Delta t + 8.44797245 \times 10^9 \Delta TEC/f + \Delta\theta_0$$

Phases RR

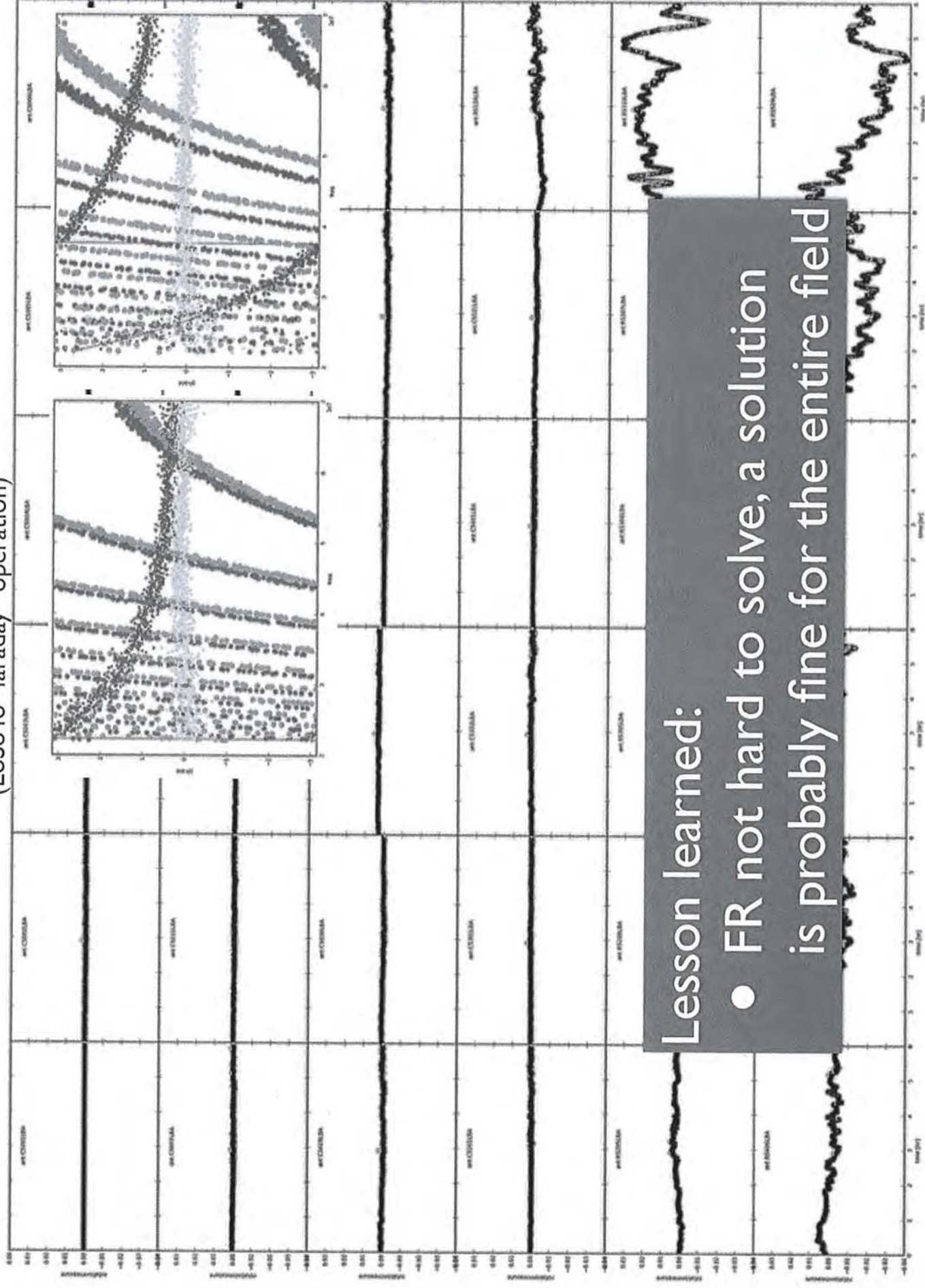


Phases LL



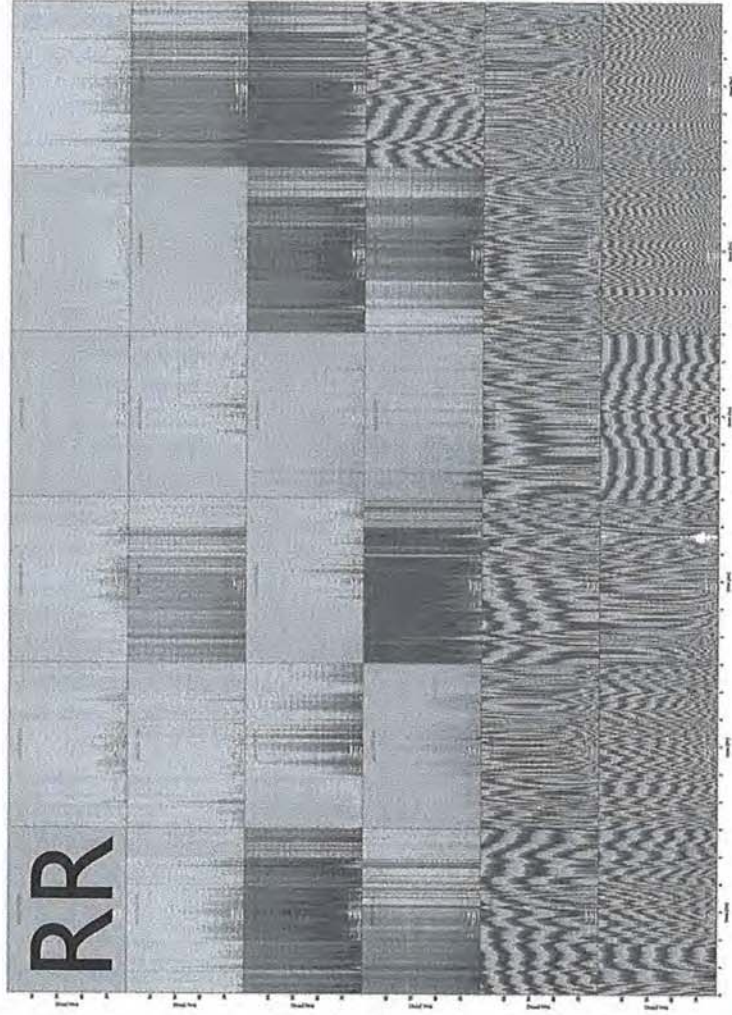
Rotation Measure

(LoSoTo “faraday” operation)

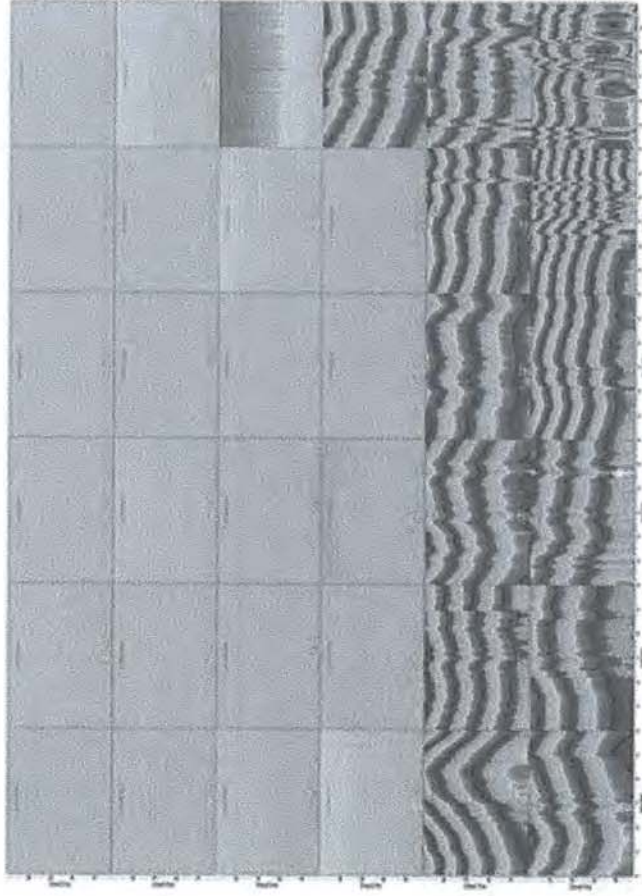


Lesson learned:

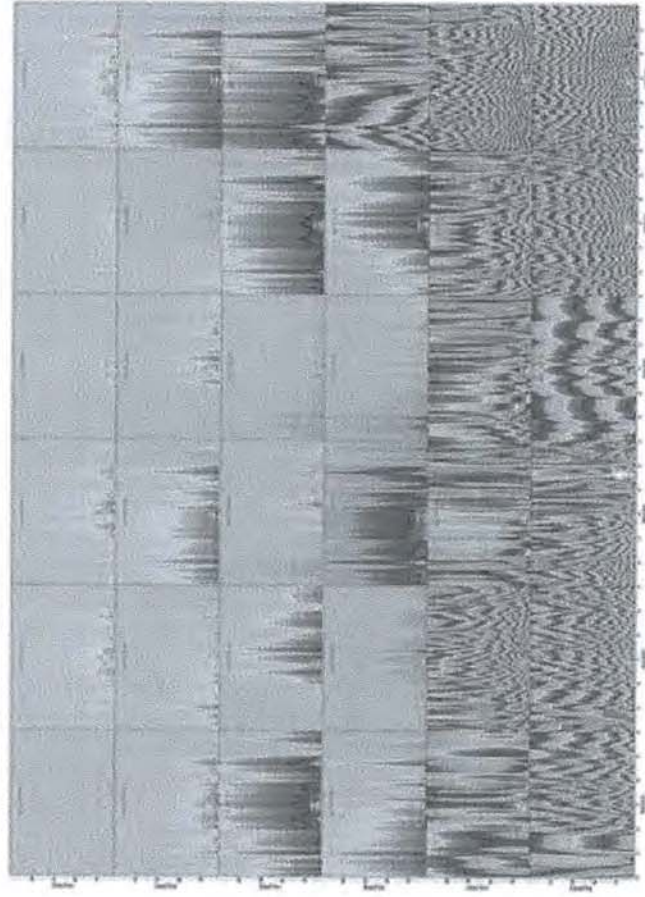
- FR not hard to solve, a solution is probably fine for the entire field



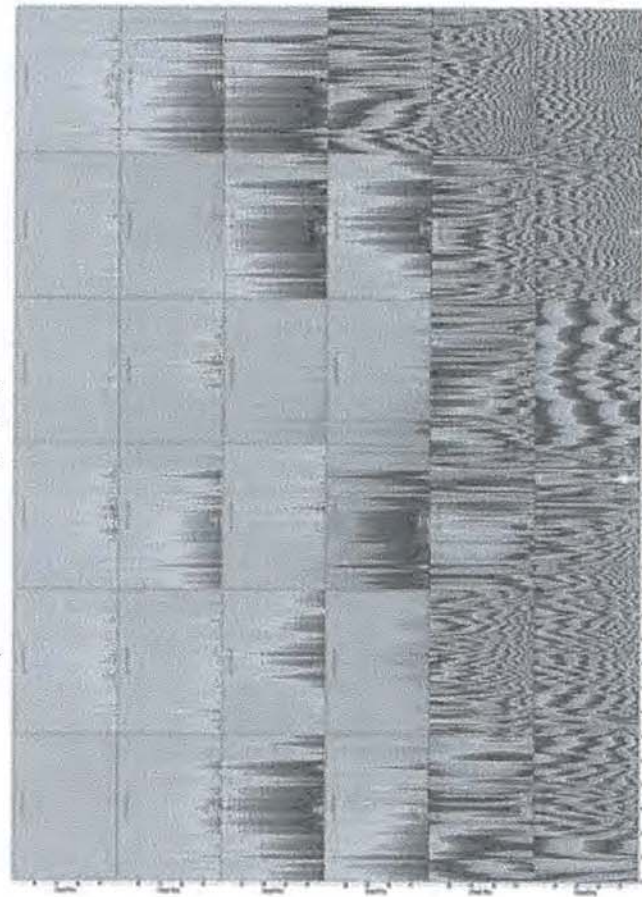
↓ - TEC - FR

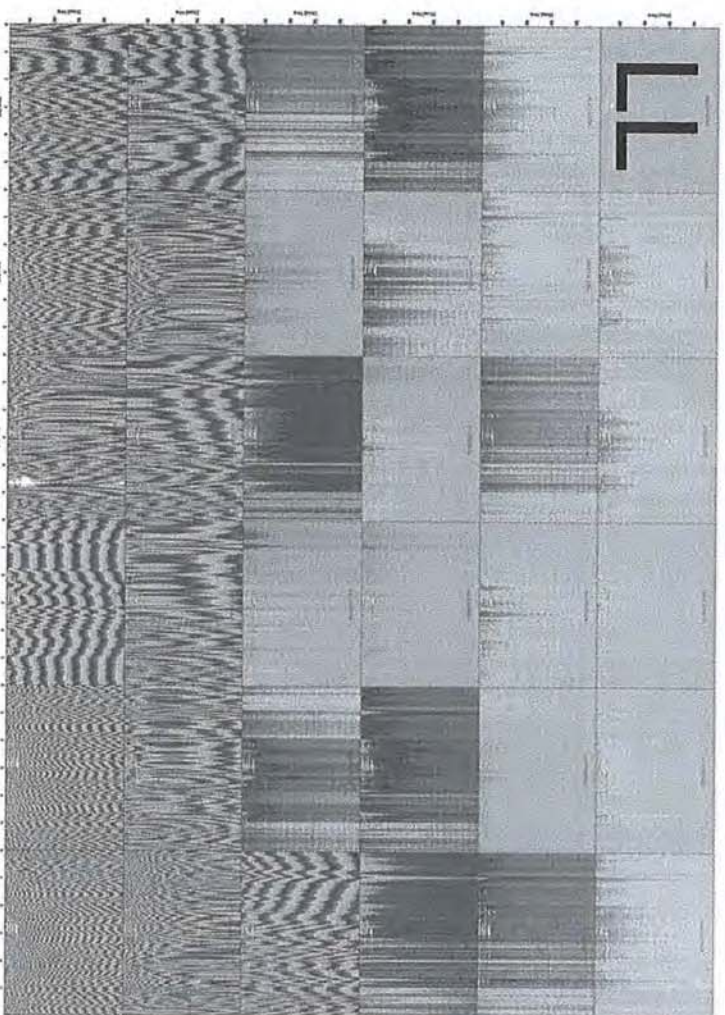


↗ - clock



↓ - FR

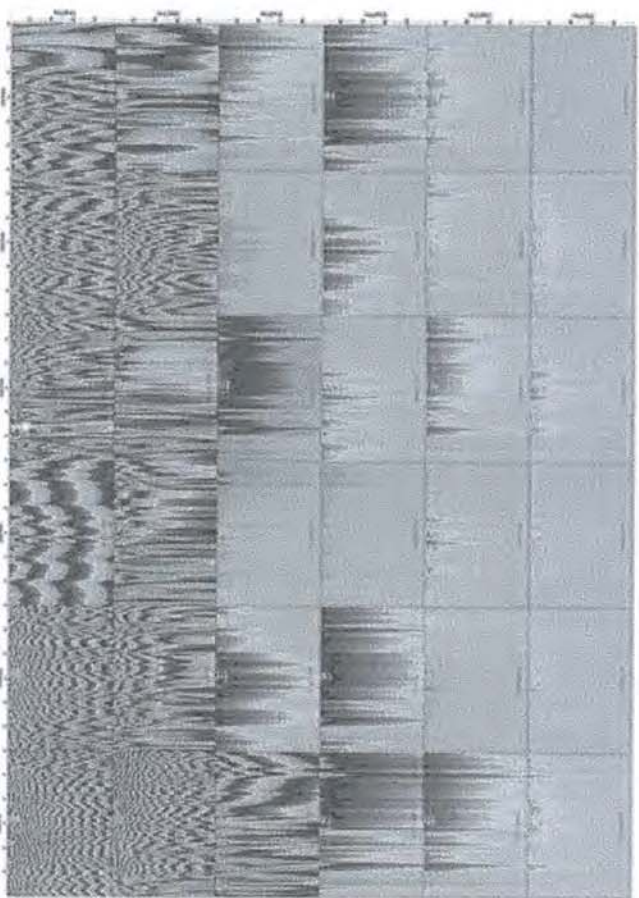




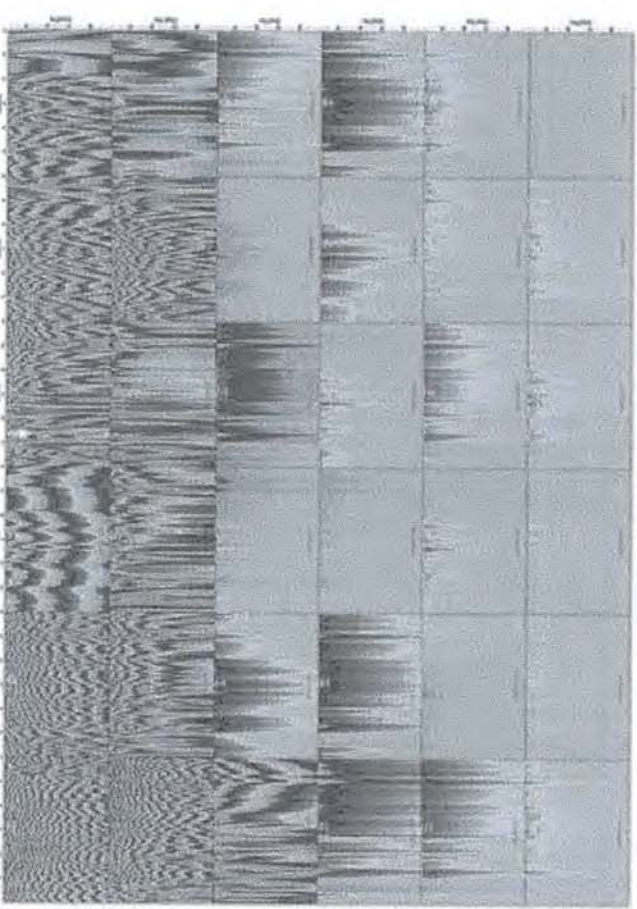
↓ - TEC - FR



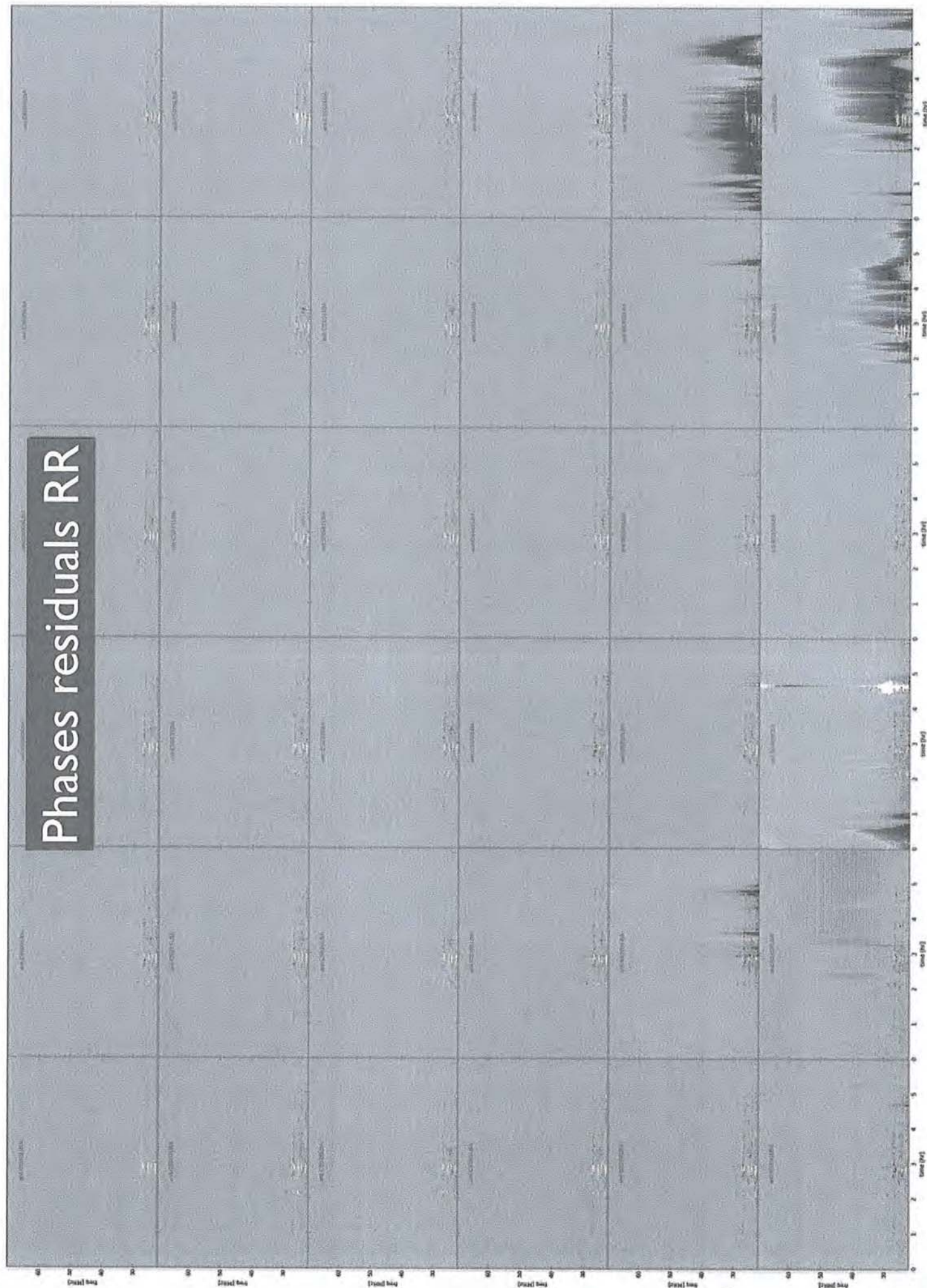
- clock



↓ - FR



Phases residuals RR



Higher orders

I order

$$\iota \approx \frac{\kappa}{c\nu^2} \int_0^d n_e(x) dx.$$

II order

$$+ \frac{3\kappa^2}{2c\nu^4} \int_0^d n_e^2(x) dx.$$

III order

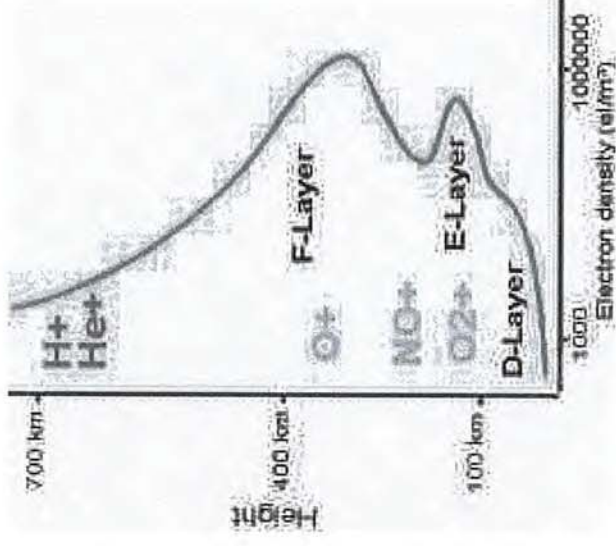
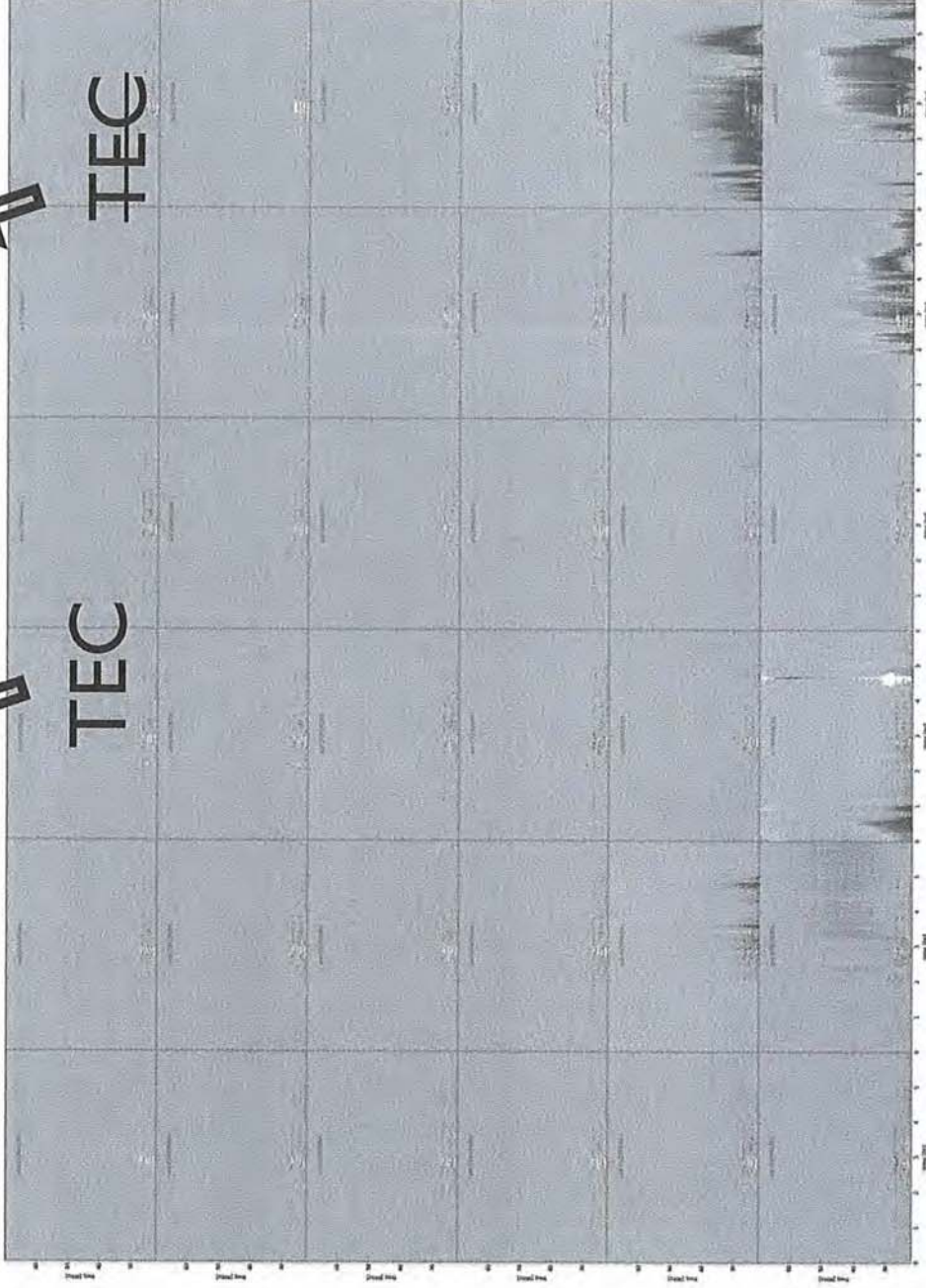
$$+ \frac{5\kappa^3}{2c\nu^6} \int_0^d n_e^3(x) dx + \dots$$



TEC

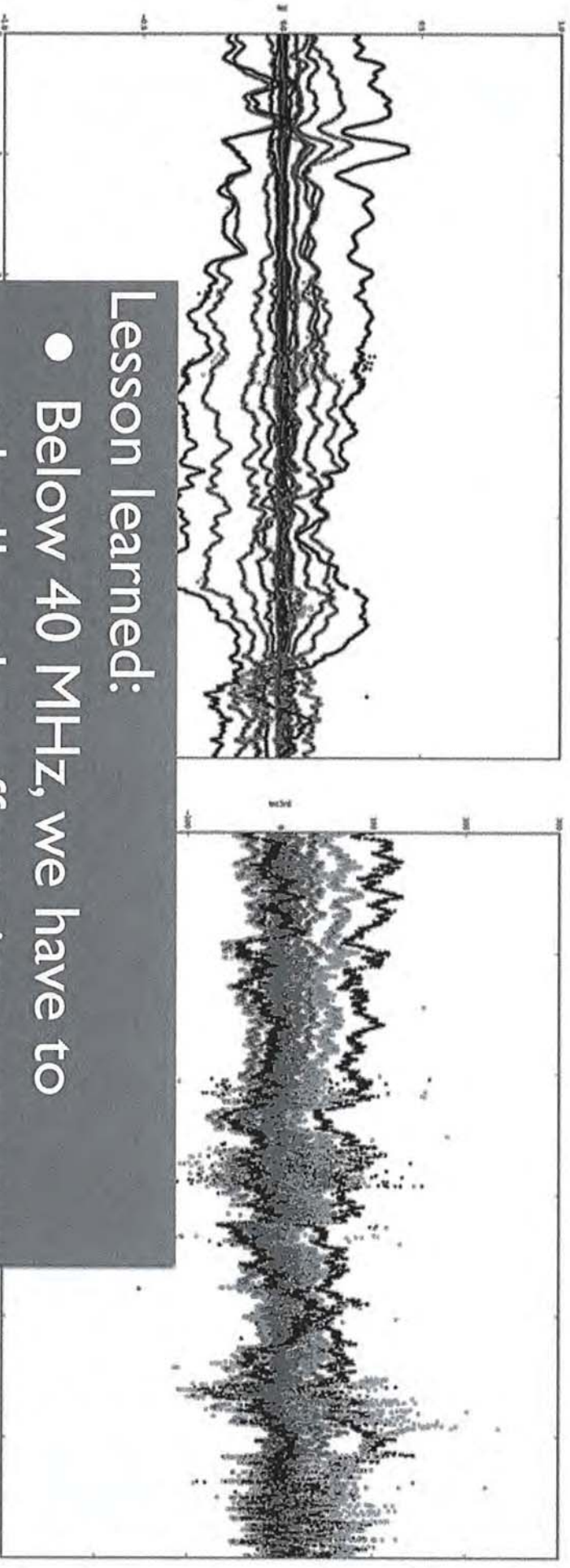


TEC



Higher order terms

$$\iota \approx \frac{\kappa}{c\nu^2} \int_0^d n_e(x) dx + \frac{3\kappa^2}{2c\nu^4} \int_0^d n_e^2(x) dx + \frac{5\kappa^3}{2c\nu^6} \int_0^d n_e^3(x) dx + \dots$$



Lesson learned:

- Below 40 MHz, we have to take 11 order effects into account

TEC (1/f)

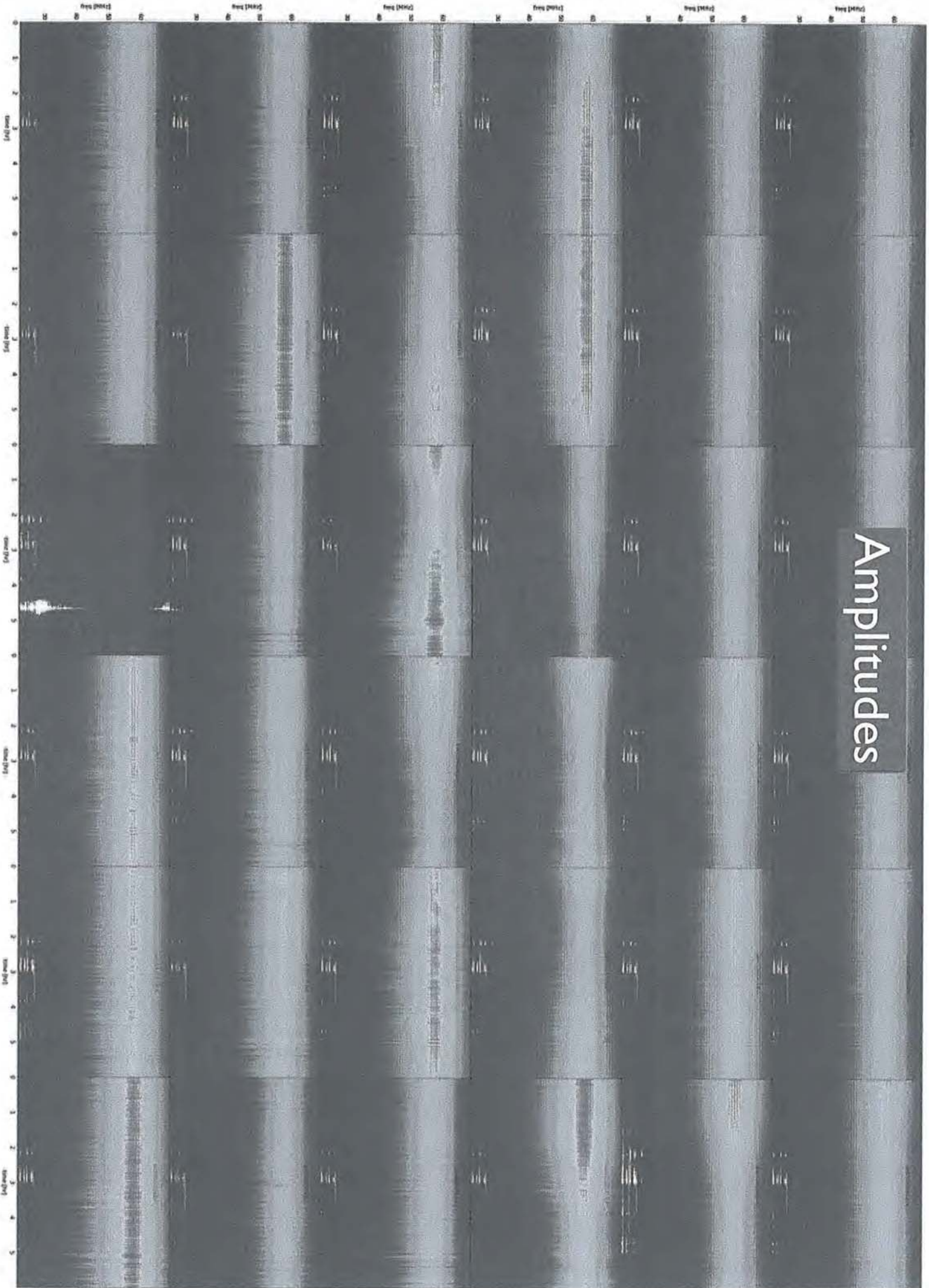
EC2 (1/f³)

Phases residuals RR

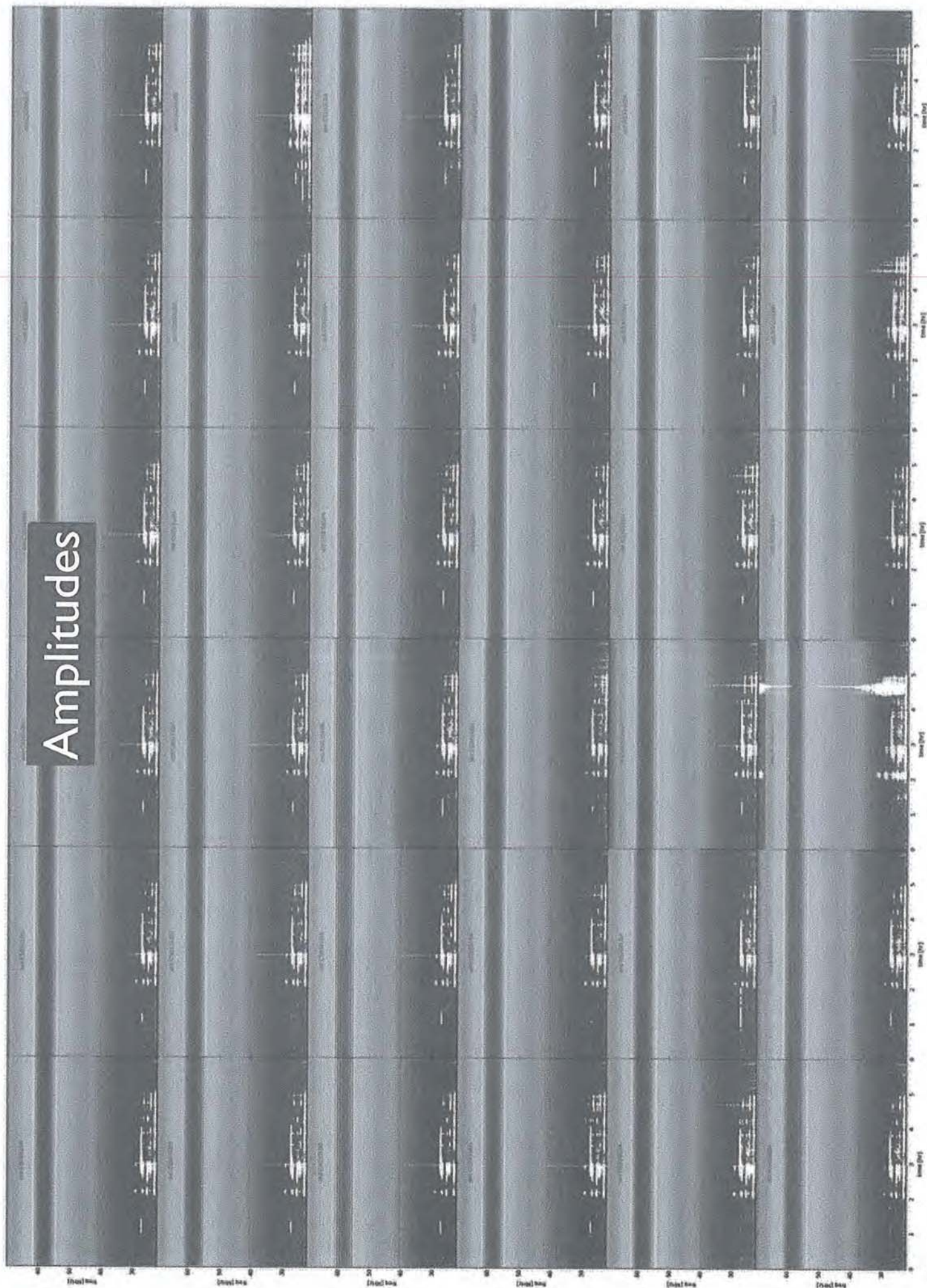
Lesson learned:

- LOFAR phases can be described with just Clock, TEC, FR

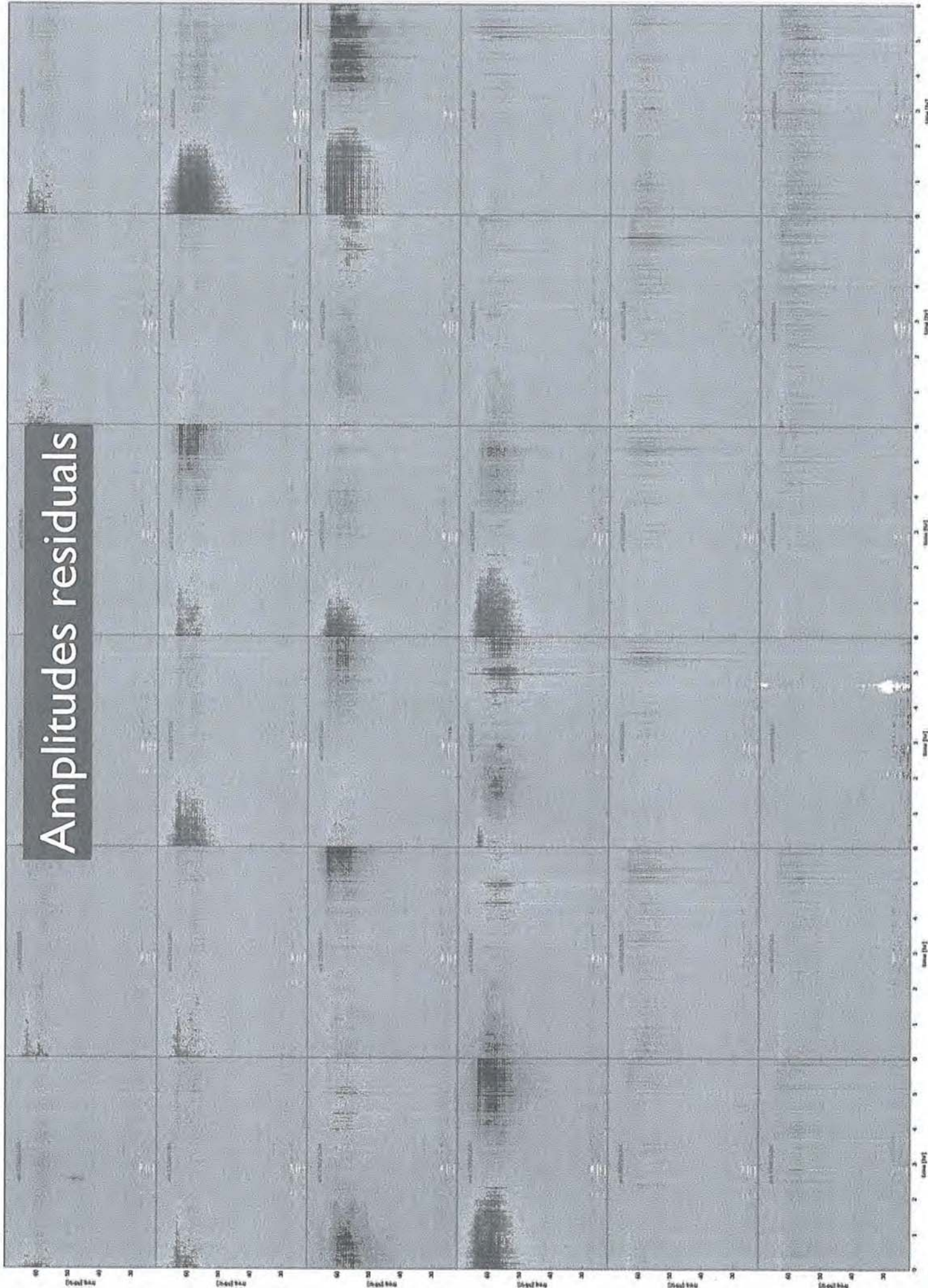
Amplitudes

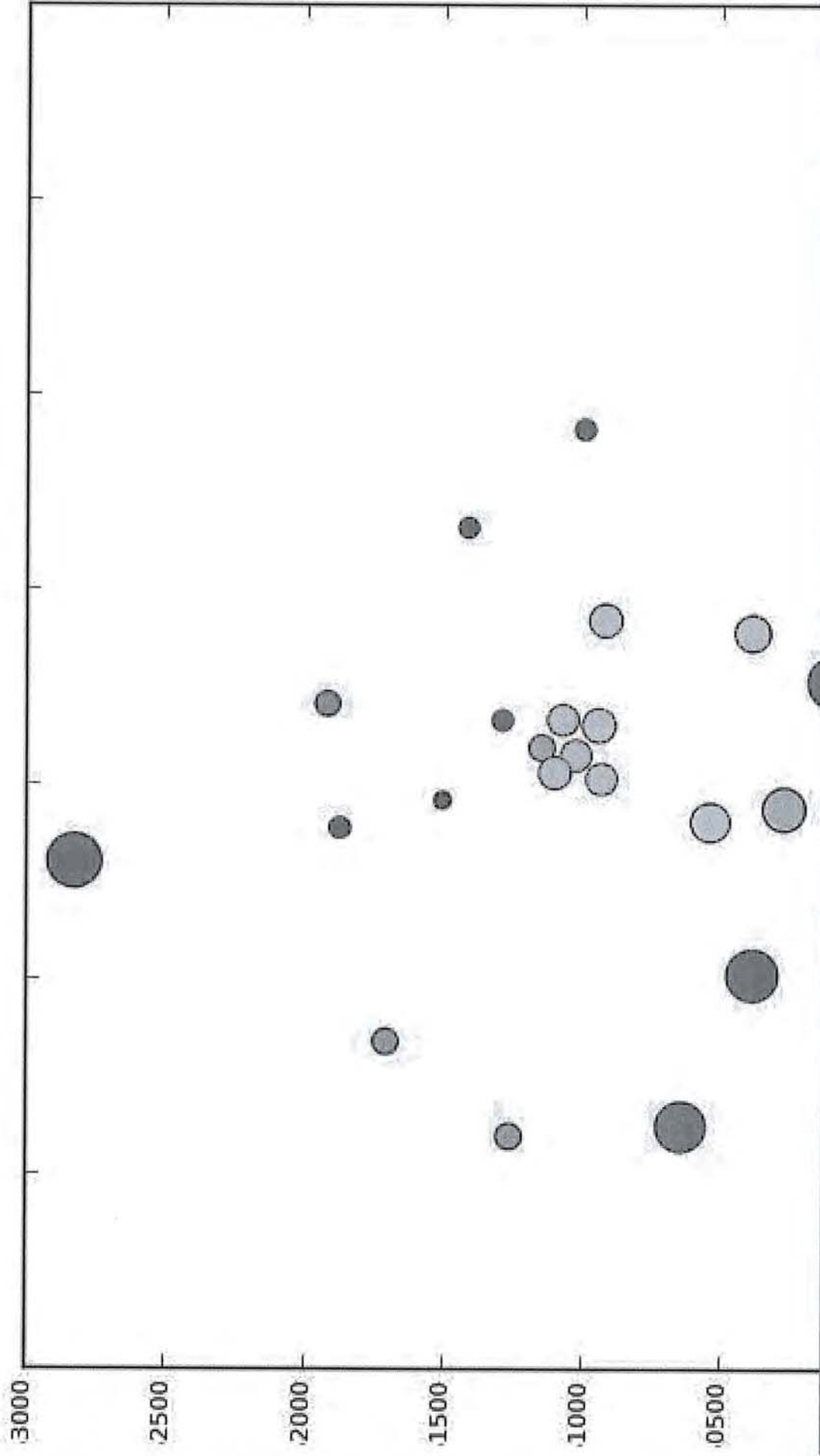


Amplitudes



Amplitudes residuals





Lesson learned:

- Do not transfer un-averaged amplitudes
- Amplitudes need DD corrections on tens arcmin scales

The LOFAR LBA Sky Survey (LoLss)

- ✓ **1. Understand the systematics**
- 2. Figure out a strategy**
- 3. Reduce the data**

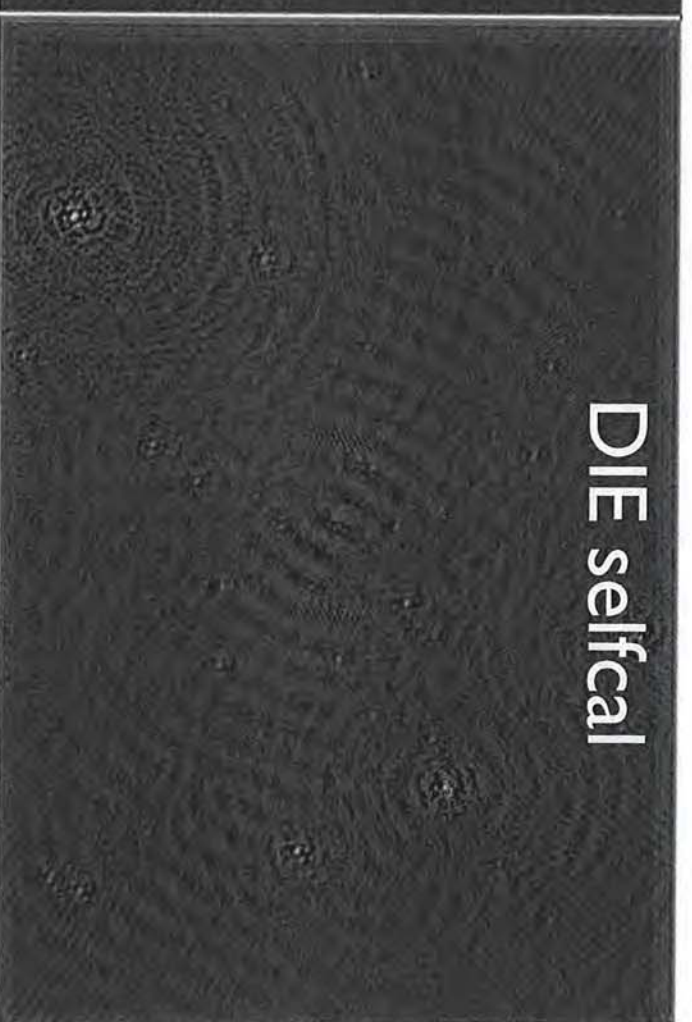
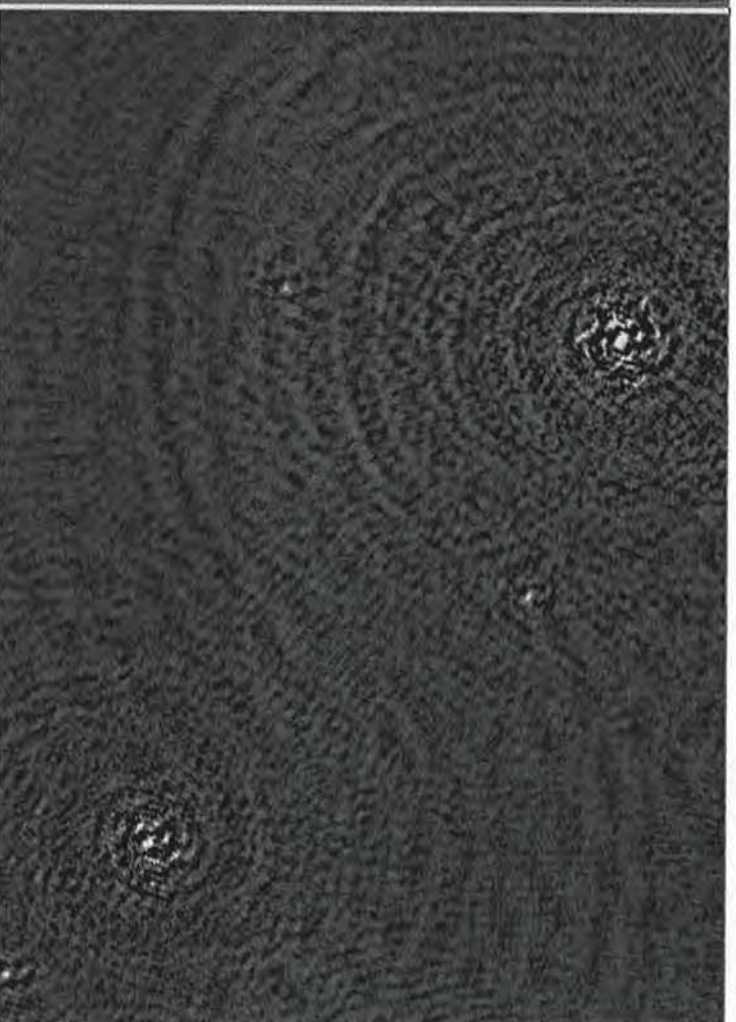
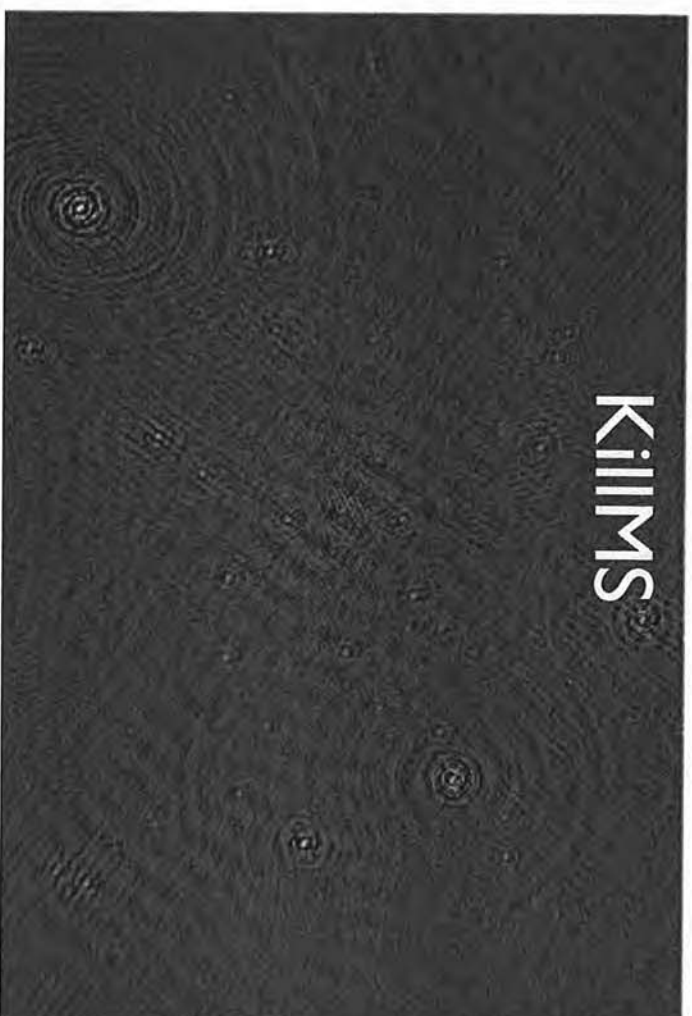
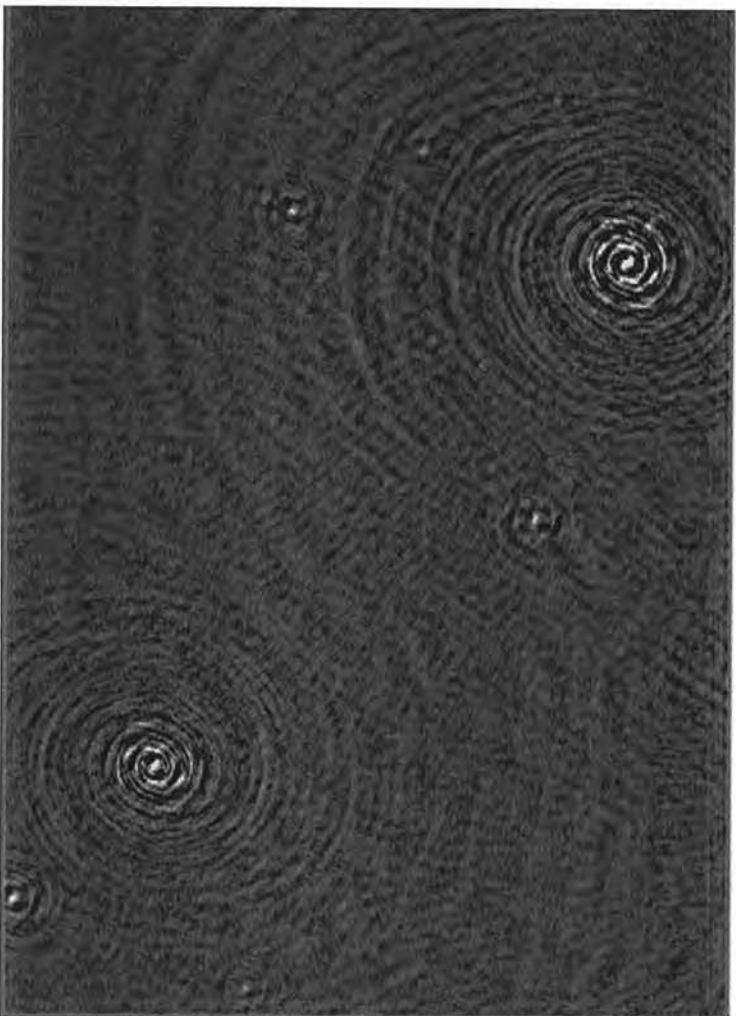
What is still missing:

- solver capable to solve freq-dependent effects (TEC, FR)
 - >> call for developers
- solver capable to handle multiple directions
 - >> killMS promising
- ultimately Signal/Noise will be a problem
 - >> LOFAR 2.0 (upgrade LBA antennas)

	Clock drift	Ionospheric delay	Faraday rotation	Scintillations
Affects	Phase	Phase	Phase (circ) Amp+Ph (lin)	Amplitudes
Type	Scalar	Scalar	Diag (circ) Rot (lin)	Scalar?
Freq. dep.	$\propto f$	$\propto 1/f; \propto 1/f^3$	$\propto 1/f^2$	some
Dir. dep.	No	Yes (tens arcmin)	Yes (degrees)	Yes (tens arcmin)

KILLMS

DIE selfcal



Productie



> Retouradres Postbus 450 9700 AL Groningen

Aan:
Coördinatiecommissie Convenant co-existentie
windpark de Drentse monden & Oostermoer en
LOFAR

Van:
Agentschap Telecom

Emmasingel 1
9726 AH Groningen
Postbus 450
9700 AL Groningen
T (050) 587 74 44
F (050) 587 74 00
www.agentschaptelecom.nl
info@agentschaptelecom.nl

Contactpersoon

T

Ons kenmerk
AT-EZ/

Uw kenmerk
Bijlagen

Datum 11 september 2017

Betreft Kostenraming beschrijving meetinstrumenten stoorstraling windturbines

Geachte Coördinatiecommissie,

Als vervolg op de Meetmethode EM stoorstraling van windturbines heeft u AT een beschrijving gevraagd van de meetinstrumenten waarmee een betrouwbare meting gedaan kan worden aan windturbines. Hieronder vindt u in een tabel een kostenraming voor de relevante activiteiten. Binnen activiteit II *Het variantenplan* is nog een keuze te maken. Eventueel kan in plaats van activiteit II ook direct gevraagd worden een projectplan op te stellen voor de semi-mobiele mini array. Dit is activiteit III. We stellen voor deze keuzes te bespreken op 11 september tijdens de volgende commissievergadering.

Openstaande vragen

Voor zowel activiteit II als III is het belangrijk om te weten:

- Moet het meetinstrument tot -35dB of tot -50dB kunnen meten?
- Gaat het om meten voor ingebruikname windmolenpark én monitoring of alleen ingebruikname?
- Gaat het om meten aan 1 molen of meerdere molens?

De kostenraming in de tabellen verderop is voor deze drie activiteiten:

- I. Presentatie aan turbinefabrikanten van de meetmethode half september.
- II. Opstellen van een rapportage met een beschrijving van mogelijke meetinstrumenten die kunnen meten tot -50 dB. De oplevering van dit meetvariantenplan aan de Coördinatiecommissie is uiterlijk 31 oktober.

Inhoud van het variantenplan met beschrijving meetinstrumenten

- a) In de rapportage worden een aantal meetvarianten beschreven, naar keuze van de opdrachtgever, te bepalen op 11 september. Elke variant omvat een beschrijving van de activiteiten en vereiste actoren, de doorlooptijd van de variant, aantal ingeschatte uren, materieelkosten, risico's, voor- en nadelen.

Mogelijke meetvarianten:

1. Meting aan een windmolen op 5 km afstand met de LOFAR core
2. Een semi-mobiele mini array die verplaats kan naar een turbinefabrikant of een testveld. Bij variant 2 worden de opties 2a en 2b beschreven:

- 2a. Uitvoering door en onder regie van AT
 2b. Plaatsen van antennes door turbinefabrikanten én een mobiele container met meetapparatuur plus meetteam van AT en ASTRON

Datum
 11 september 2017
Ons kenmerk
 AT-EZ/

- b) Het variantenplan sluit af met een beschouwing van AT op de haalbaarheid per variant en eventuele risico's zoals beschikbaarheid van fte bij AT en ASTRON.

In plaats van activiteit II kan de commissie opdracht geven voor activiteit III.

- III. Opstellen van een projectplan voor meetvariant 2b: bouw van een semi-mobiel meetinstrument waarbij de antennes door turbinefabrikanten worden geplaatst nabij een testlocatie én een meetteam van AT en ASTRON met een mobiele container met meetapparatuur de meting verricht. De oplevering van het projectplan aan de Coördinatiecommissie is uiterlijk 31 oktober.

Inhoud van het projectplan voor semi mobiele mini Array

Projectplan op basis van middelen, mensen en processen: beschrijving van de activiteiten, taken, verantwoordelijkheden, planning en begroting.

Kosten activiteit I presentatie meetmethode

Rol	uren	tarief	Totaal
Projectleider / naam		119,00	
		119,00	
		119,00	

Kosten activiteit II variantenplan met alle varianten

Rol	uren	Tarief	Totaal
Projectleider / naam		119,00	
		119,00	
		119,00	

Kosten activiteit II variantenplan met alleen varianten 2a en 2b

Rol	uren	Tarief	Totaal
Projectleider / naam		119,00	
		119,00	
		119,00	

Kosten activiteit III Projectplan semi-mobiele mini array

Rol	uren	Tarief	Totaal
Projectleider / naam		119,00	
		119,00	
		119,00	

Totaal overzicht kostenraming

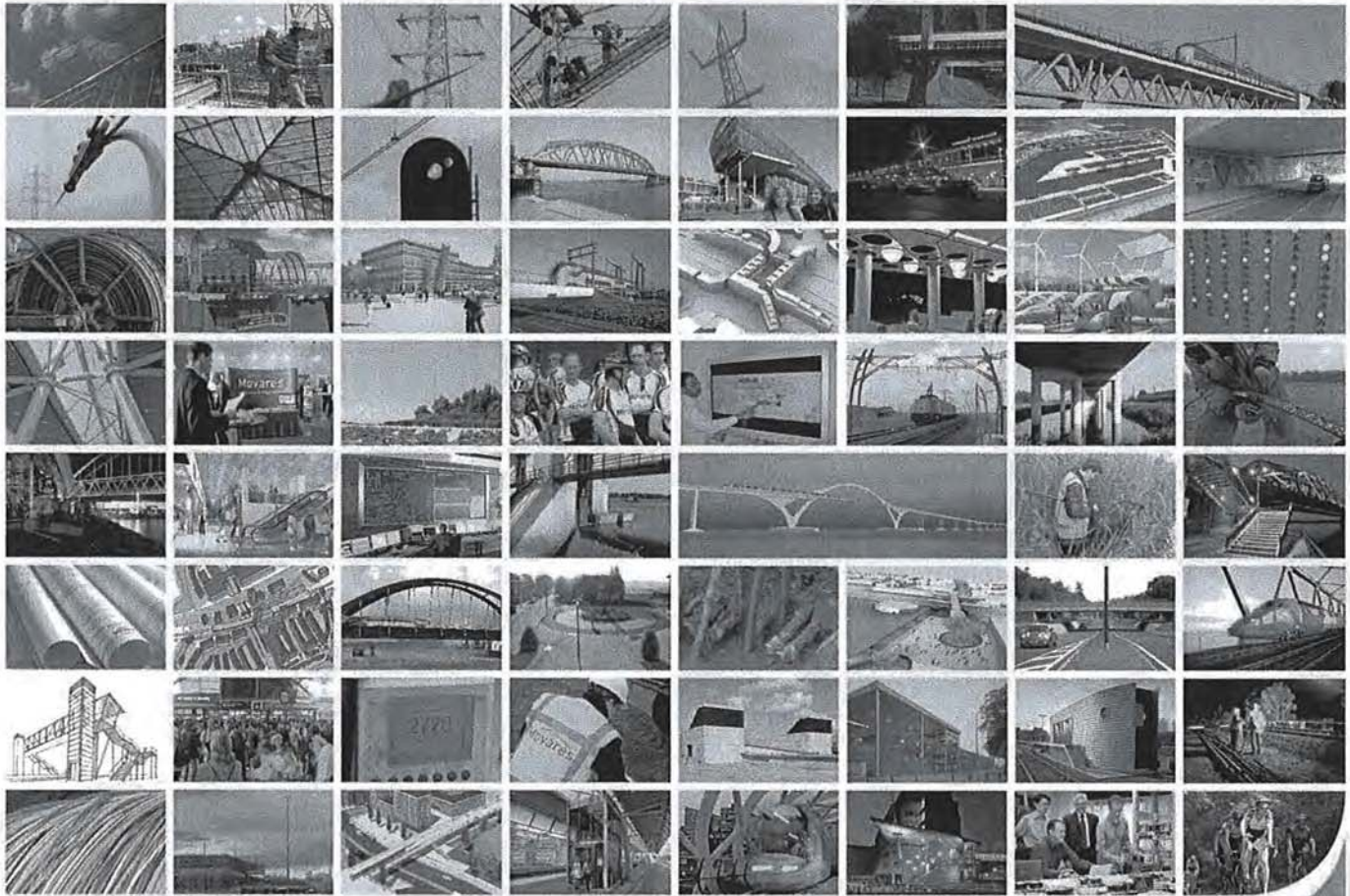
Datum
11 september 2017

Ons kenmerk

Activiteit	Inzet in uren	Budget capaciteit in €	Materiele budget in €	Totaal budget in €
Presentatie aan turbinefabrikanten van de meetmethode				
Opstellen van het variantenplan met alle varianten				
Opstellen van het variantenplan met varianten 2a en 2b				
Opstellen projectplan semi mobiele mini Array				

De bedragen zijn gebaseerd op de vastgestelde uurtarieven voor 2017. Na keuze voor de activiteiten en acceptatie van de kostenraming door de commissie en afstemming hierover met DGETM ontvangt Agentschap Telecom een schriftelijke bevestiging van DGETM over het totale bedrag en de procesmatige afwikkeling.

Productie 



"Klik en type bijschrift"

7 September 2017- Version 0.1

Authorization page

Method for measuring EMI-radiation of a windturbine

	Name	Check	Date
Author			
Checked by			
Released by			

Due to the digital processing of our release process signatures are missing on this authorization form. This report is verifiably released.

Version history

Version	Name	Date	Short explanation

Summary

Table of contents

Summary	1
Introduction	3
1 Introduction	4
1.1 Definitions	4
1.2 Problem definition and solution	4
1.3 Requirements: covenant levels, accuracy, sensibility	5
2 Method	6
3 Measurement apparatus & requirements	7
3.1 Overview hardware apparatus, consisting of: antenna, receiver, data acquisition system	7
3.2 The antenna array	7
3.3 Receivers: requirements and examples (COTS)	8
3.4 Data network (COTS)	9
3.5 Data storage: harddiscs, required capacity, requirements, examples	9
3.6 Additional supplies	9
3.7 Operator(s): education, skills	9
3.8 Agreement Groningen	10
4 Data processing	11
4.1 Storage of data	11
4.2 Data pre-processing	11
4.3 Flagging and averaging	11
4.4 Self calibration	13
4.5 Imaging	13
5 Measurement operations	17
5.1 Logistics: planning, container, operator(s)	17
5.2 Setting up measurement apparatus	17
5.3 Check ups	17
5.4 Data processing: flagging, averaging, storage, imaging, conclusion	17
5.5 Results, conclusions	17
Appendix 1: Antenna positions	18
Publishing details	20

Introduction

1 Introduction

This report describes the aspects that are involved in measuring the radiation of a windmill. It is a guideline with respect to the measurement setup, the collection processing and interpretation of the measurement results and the requirements and skills of the people that perform the measurement.

The basis of this report is the report [1].

1.1 Definitions

The following abbreviations and .. are being used in this report.

1.2 Problem definition and solution

The problem described in this report involves the measurement of very low level EMI emission from a wind turbine in the presence of interfering sources. Main interferers are the astronomical sky objects and other “normal” EMI. This requires a high sensitivity of the measurement apparatus and the ability to discriminate any interference from other sources.

The situation and layout are depicted in figure 1.1

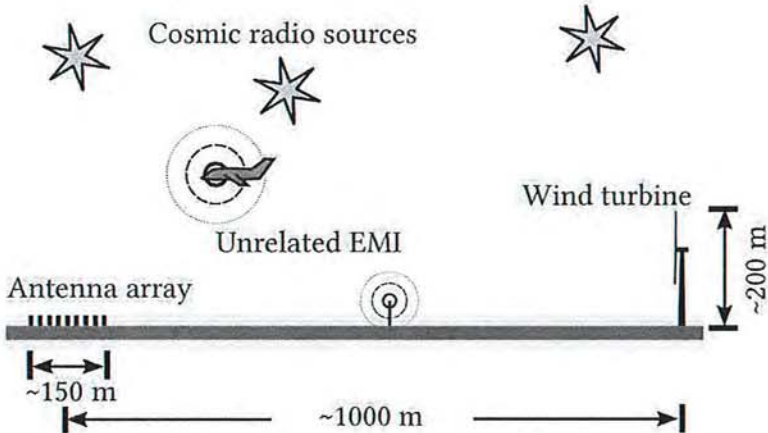


Figure 1.1: Graphical presentation of measurement situation

The solution has been found in an approach similar to the method that is used in LOFAR.

The field strength to be measured is defined in article 1 and 2 in the covenant:

Article 1

“The (equivalent of) the limit value in EMC norm EN55011 for class A group 1, of 50 dBμV/m in a bandwidth of 120 kHz (this is equivalent to -0,8 dBμV/(m · Hz)) at 10 m distance from the wind turbine nacelle at 100m height, is being used as reference for the agreement in this covenant (“Norm”).”

Article 2:

“The Windfarm shall not be put in operation by the Initiators if the EM interference of the wind turbines in full operation is not at least 35dB below the Norm in the direction of the LOFAR core.”

According to article 3 there are no operational limitations if the emission of the wind turbines is reduced by 50 dB or more from the Norm.

The values are related to the value in EMC norm EN 55011. However, the measurements cannot be obtained using any EMC measurement practises. These have to be performed as mean (RMS) measurements because wind turbine interference to LOFAR’s imaging observations is linearly proportional to the mean flux density of the wind turbine, and LOFAR’s time domain observations are affected linearly proportionally to variations in the signals.

The field strength is defined in the geometric far field. In case of a near field measurement, far field values have to be derived by calculations. It should be noted that for the higher frequencies, the far field starts at a very large distance from the radiator (wind turbine).

2 Method

The measurement method is divided into several steps which will be described below.

In order to perform the measurements some requirements have to be fulfilled. Firstly, the antennas should be placed in an array which is described in this report. The position of the array should be relative to the direction of the wind turbine on which the measurement is to be performed. This direction is identical to the direction of the part of the wind turbine facing the victim. This direction faces the worst case for measuring the EMI radiation. The measurement data are stored in a storage location. The processing of the data will be done off site.

1. Place a test source at 100 m height near or on the wind turbine. The test source should emit a signal with an e.i.r.p of $2.8 \cdot 10^{-12}$ W/Hz for each carrier, which is the 0dB reference level in the covenant.
2. First measurement: test source off, wind turbine off.
This observation is intended to perform a registration of possible interfering sources nearby and to set a low level reference value for the calibration procedure. The integration time is 7200 seconds with 1 MHz bandwidth for a measurement aiming for -50 dB level at a signal to noise ratio of at least 10.
3. Second measurement: test source intermitting 2 sec on / 10 sec off and wind turbine off.
This observation is intended to establish the amount of reflected interference. The integration time and bandwidth are equal to in step 2. A quick analysis should be performed on the data in order to check whether the calibration source is visible. If not, possible faults in the equipment should be corrected and all measurements should be repeated. Rudimentary imaging may also be performed to identify potential local EMI unrelated to the wind turbine, so it can be dealt with before the final measurement.
4. Third measurement: test source off and wind turbine on. This is the actual measurement. The integration time and bandwidth are equal to in step 2.

After the measurements the data will be processed off site using the method described below.

3 Measurement apparatus & requirements

This chapter describes the measurement setup, including instruments, their requirements and skills of operators who operate the setup.

3.1 Overview hardware apparatus, consisting of: antenna, receiver, data acquisition system

The measurement setup consists of an array of several antennas, receivers and storage capacity. Figure 1 shows an overview of the setup.

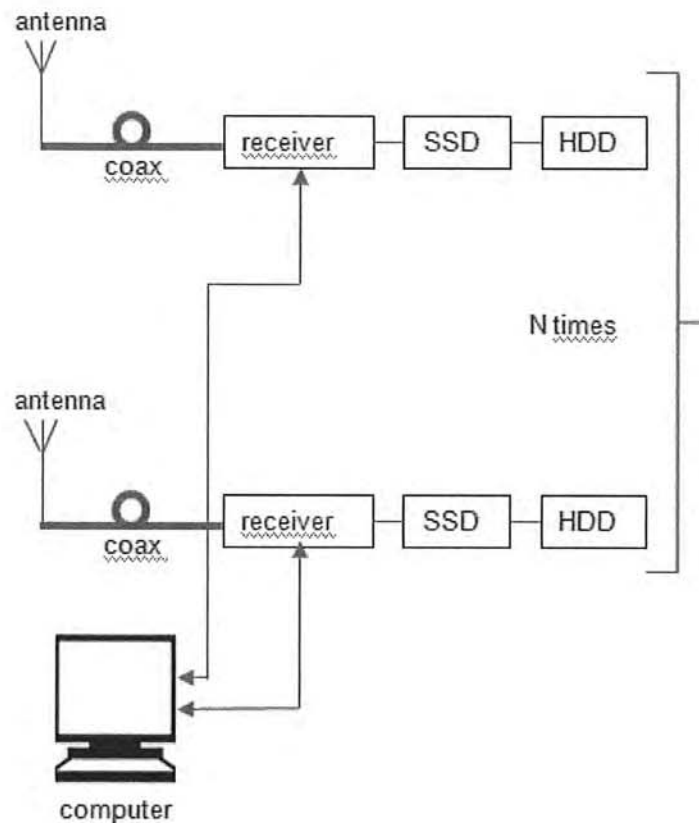


Figure 1: measurement setup

The setup consists of N identical sections, where N is the number of antennas in the array. A computer is being used to control the measurements. For this reason each receiver is connected to the computer. The storage capacity is connected to the receivers. During measurements results are being stored in SSD's. After each measurement the data will be transferred to hard disks (HDD's).

3.2 The antenna array

The centre of the antenna array is 1000 meters from the wind turbine.

The number of antennas to measure 50 dB below the Norm is 96. The coordinates of the antenna positions relative to the centre of the triangle are listed in Appendix 1.

The array consists of 96 identical J-pole antennas. Candidates are:
 <TYPEN EN KANDIDATEN NOEMEN.>
 <ONDERSCHEID MAKEN IN HOGE EN LAGE FREQUENTIEBANDEN.>

3.3 Receivers: requirements and examples (COTS)

For the choice of the receiver the original LOFAR receiver can be used as a guideline.
 <WAAR IS DEZE BESCHREVEN?> VRAGEN NAAR
 DOCUMENTATIE.> These receivers are not overdesigned and offer therefore a cost effective solution.

These employ 12 bit AD converters, representing a theoretical dynamic range of 72dB. The sensitivity of these AD converters is -139dBm/Hz. Direct after the antenna element an amplifier (LNA) is placed. The antenna amplifier cable combination sensitivity is defined in terms of noise temperature in percentage skynoise. Table D1 indicates the current values for the Low and High band antenna.

	LBA (30-90 MHz)	HBA (110-170 MHz)	HBA (170-250 MHz)
Actual ADC dynamic range	60 dB	60 dB	60 dB
ADC noise floor	-139 dBm/Hz	-139 dBm/Hz	-139 dBm/Hz
Preamplifier gain	24 dB	22 dB	27 dB
Noise density@ input receiver	-145 dBm/Hz	-169 dBm/Hz	-169 dBm/Hz
Noise figure	11 dB	11 dB	11 dB
OIP ₂	>41 dBm	>51 dBm	>45 dBm
OPI ₃	>26 dBm	>19 dBm	>16dBm
Noise temperature % skynoise	<20%	<=100%	<=100%
NOTE: No measurements are performed in the FM broadcasting band			

Table D1 Current realised LOFAR receiver specifications

If antennas with significantly more gain towards the wind turbine are used lower gain values for the preamplifier can be specified. More information on a predesign of this amplifier can be found in Tan and Rohner [14].

The following is meant to be starting point for further research:

A possible receiver mentioned during the discussions is the USRP X310 van Ettus Research. <https://www.ettus.com/product/details/X310-KIT> Some of this equipment is also available from and supported by national instruments

This receiver needs one daughterboard for each receiving channel needed in order to operate from 1-250 MHz <https://www.ettus.com/product/details/BasicRX>

An external anti-aliasing filter and a preamp with sufficient gain and linearity also needs to be installed.

For clock distribution a standard solution for 8 outputs is also available.

<https://www.ettus.com/product/details/OctoClock-G>

This receiver may need modifications in order to make it applicable in a measurement system. Other receivers might be applicable as well.

Also here special care should be taken about dynamic range, sensitivity and stability.

Another possible receiver is the IZT R5000 from IZT <https://www.izt-labs.de/en/products/category/receivers/product/izt-r5000-1/>

This receiver is available as building block for system integrators

Cost effective solutions are the blade rf <https://www.nuand.com/> or the spectrum analysers from signal hound <https://signalhound.com/> and aaronia <http://www.aaronia-shop.com/products/spectrum-analyzer/real-time/customizable-spectrum-analyzer>

Possibility to synchronise multiple analysers and realtime bandwidth need to be investigated. These devices may need a frequency converter to achieve the full frequency range.

<DIT VERDER .UITWERKEN>

3.4 Data network (COTS)

The data network is to control the receivers and data storage. The data network has to be designed and built by IT.

3.5 Data storage: harddiscs, required capacity, requirements, examples

During measurements fast storage is needed, SSD's are the obvious choice but these are expensive especially in larger sizes. It is practical to store the content of the SSD to a conventional hard disk (array) after the measurement and free the SSD for the next measurement. This principle is shown in figure 2.1. The data on these disks may be analysed off site.

Here we give an idea of the required disk space at 16bit resolution. When designing a system for 30-240 MHz an IQ sampling rate of 240 MHz is needed (or 500MHz for non IQ). Storage will be done at 16 bit to preserve enough dynamic range between terrestrial transmitters and the thermal noise. This results in 960MB/sec for each receiver or 58GB/minute or 3.5TB/hour. A 96 element array observing for 7200 s total time yields almost 664 TB of raw data

3.6 Additional supplies

The equipment will be kept in a metal shipping container. The equipment is stored in cabinets that are firmly attached in the container. On the outside of the container there are N-connectors to connect the coax cabling from the antennas. Also the power supply of the setup is being housed in the container. The container will be provided of lighting.

The container will also be used as an office for the operator(s) who perform the measurements. Therefore In the container there will be also power supply, a table and some chairs.

3.7 Operator(s): education, skills

The operator will be educated by Astron to provide guidance to the measurements. Some responsibilities and skills are:

Responsibilities

- Open to learning and understanding necessary data processing (imaging, pre processing, etc).

- Able to plan and manage measurement sessions.
- Able to perform high-precision measurements.
- Work and communicate effectively in a multi-disciplinary, international team environment

Your skills

- More than 4 years of experience with measuring EM-fields and data storage.
- Background in electronics.
- Able to travel through Europe.
- Mastery of Windows (Word, Excel, etc.).
- Analytical thinking and a systematic approach to problems.
- Good written and spoken English; (the Dutch language is not required for this position)

3.8 Agreement
Groningen

The data will be processed at the computer in Groningen.

<WAT VOOR AFSPRAKEN ZIJN HIERVOOR NODIG?>

<HOE LANG DUURT EEN VERWERKING?>

<HOE WORDEN DE MEETRESULTATEN GEPRESENTEERD?>

4 Data processing

4.1 Storage of data

During measurements storage is needed.

The IQ sampling rate of the system is 240 MHz. To obtain a dynamic range between terrestrial transmitters and the thermal noise each measuring result has to be 2 bytes. Because of the complex results this yields 960 MB/s per antenna. The measuring time of 7200 s results in 664 TB of data.

Because of the data rate SSD's are the obvious choice to store data during the measurement. Afterwards it can be transferred to a conventional hard disk (array).

4.2 Data pre-processing

Once the antenna's time series are transformed to the frequency domain, cross correlations can be performed by multiplication of the complex spectrum of one antenna with the complex conjugate of another.

The result can be averaged in time for a period in which the interferometer's radio environment remains constant. This cross-multiplication has to be done for all possible pairs of antennas. Each pair of antennas is called a baseline, and provides a complex visibility representing one Fourier mode of the radio image one wants to create. To enable efficient removal of burst-like interference such as electric fences or lightning, we recommend averaging the data to approximately 0.1 s. Reference implementation 4.2 shows source code that implements cross-multiplication and averaging.

The amount of output data per integration time is equal to $B \times C \times w$ bytes, where B is the number of baselines including autocorrelations $N \times (N + 1) / 2$, with N the number of antennas, C the number of frequency channels, and w the width of the complex number. We recommend using complex numbers consisting of two four-byte floating point numbers. For 48 antennas and a 10 MHz total bandwidth divided into 5000 channels, this becomes approximately 47 MB per integration time of 0.1 s, or 470 MB per second of time on the sky. This is not necessarily the output data rate of the correlator because it does not have to run in real time, and might be implemented off-line.

4.3 Flagging and averaging

The high time- and frequency resolution data produced by the correlator still contains powerful narrowband interference from ordinary radio transmitters, as well as potential burst-like interference from, for example, electric fences. There also might be missing data due to various instrument malfunctions. Before averaging further, the affected data points must be marked ("flagged") as bad, so they can be ignored in the subsequent averaging, calibration, and imaging/-analysis stages. The most powerful algorithm currently in use at LOFAR for this task is based on the SumThreshold algorithm (André Offringa's PhD thesis) [8]. It simply adds sub sequences within an array (list of numbers in this case), and marks the subsequence as bad if the sum exceeds a certain threshold. The algorithm needs to be run in time direction for all channels, and in frequency direction for all time slots. Each baseline must be processed independently because some interference (for example generated by local equipment) might only show up on certain baselines. Before applying the SumThreshold

algorithm, the data must be preconditioned by subtracting the mean and dividing by the root mean square (RMS) value. For sufficiently long observations or steep band passes, de-trending in time, frequency, or both might be necessary. After flagging, the data is recommended to be averaged to a resolution of approximately 1 s in time, and tens of kHz (depending on the interferometer up to 200 kHz is recommended) in frequency. This reduces the data size by a factor 100 to 1000. Subsequent steps are all conducted on the flagged and averaged data products.

<ANDERS BESCHRIJVEN?>

4.4 Self calibration

In radio imaging, one uses a technique called self calibration, or selfcal to iteratively estimate the image of the sky and the complex gains $g_i e^{2\pi i \nu \tau_i}$ or in the quasi-chromatic approximation $g_i e^{i\phi_i}$, where ϕ_i is the phase and g_i the voltage gain of antenna i . The procedure is as follows:

1. Take flagged and averaged visibilities;
2. Using source positions from a source model, estimate source flux densities;
3. Using full source model (positions and estimated fluxes), predict "perfect" visibilities for all baselines;
4. Using "perfect" model visibilities and observed visibilities, determine complex antenna gains that minimize the difference between model and observed data;
5. Correct raw visibilities for complex antenna gains;
6. Subtract sources from corrected visibilities, make image, look for and identify new sources, add to sky model if found;
7. Using source positions from the updated source model and newly derived complex antenna gains, estimate brightness for each source;
8. Repeat from 3 until convergence is reached and the antenna phase solutions as well as the source flux densities stop changing.

This procedure converges in only a few iterations, provided that there are many more visibilities (equations) than the sum of the number of sources and the number of antenna gain solutions (unknowns), the signal-to-noise ratio per gain solution is sufficiently high, and the sky model contains almost all detectable sources.

Selfcal is very stable if one only fits for the antenna's phases and source fluxes. If one also attempts to solve for antenna gains, one requires a near-complete model of the sky to prevent unphysical solutions or diverging iterations. Generally, in radio astronomy, one starts out with several iterations of phase-only selfcal, followed by a few combined amplitude and phase iterations only when one is absolutely certain to have captured near 100% of the observed flux in the model. Given the small number of antennas and visibilities involved in the problem at hand, and the stability of analogue electronics at the relevant radio frequencies, we strongly advise against using amplitude selfcal and strongly recommend a phase-only approach.

The following subsections discuss the primary elements of the selfcal loop, the imaging, the calibration, and the source model or sky model.

4.5 Imaging

The main aim is to determine the apparent flux density (averaged over the array) of a source near the array, in the presence of several celestial sources at practically infinite distance. In the absence of a near-field source, one can form an approximate image of the sky by Fourier transforming the complex visibilities

(array correlation matrix). If the antenna locations are fixed with respect to the area to be imaged, as is the case here, this is efficiently done by multiplying the vector of visibilities by a matrix M relating every pixel in the sky with every visibility. The matrix M has as many columns as there are visibilities, and as many rows as there are pixels on the sky. Element m_{pq} of M is given by:

$$m_{pq} = w_q e^{2\pi i \vec{u}_q \cdot \vec{l}_p / c}$$

where w_q is the weight of a certain baseline, $\vec{u}_q$ is the position difference vector pointing from antenna 1 to antenna 2 (which has its signals conjugated in the correlator) in the baseline, and $\vec{l}_p$ is the unit vector pointing to a certain pixel on the sky. Code to generate such a matrix is provided in Reference implementation 5.2.

The vector $\vec{w}$ could for example be 0 in case a certain visibility is not to be used, and $1/n$ in case a certain visibility is one of n actually valid visibilities. Reasons to exclude visibilities could be that the baseline is too short, or the baseline contains other noticeable interference.

The resulting all-sky image is shown in Fig. 5.1. The result of using a simple discrete Fourier transform for imaging is that one obtains a so-called "dirty" image, which is the true sky brightness distribution convolved with a point spread function (PSF). The PSF is obtained by Fourier transforming the weights between the baseline plane and the sky plane. Although the sources "Cas A", "Cyg A", "DR 4", "Tau A", and the Sun are clearly detected, all other blobs are side lobes of the PSFs centred on the brightest sources.

These side lobes dominate the noise floor of the map. To achieve map noise consistent with thermal noise, one has to remove these sources and their associated PSF side lobes. This deconvolution process is called "cleaning" in the radio astronomy world. There exists a vast literature describing the best algorithms for various situations.

Because of the low number of sources that needs to be subtracted, and the small number of baselines, we choose to rewrite the first equation in section 6.4 in matrix form:

$$\vec{v} = M \vec{b}$$

where $\vec{v}$ is the vector containing all visibilities (obtained for example by taking the upper triangle of the array correlation matrix and stacking the rows or columns), $\vec{b}$ is the vector containing the (unknown) brightness of each source, and M is the matrix:

$$m_{pq} = w_p e^{2\pi i \vec{u}_p \cdot \vec{l}_q / c}$$

With $\vec{l}_q$ the unit vector pointing towards astronomical source q .

One can then use any complex linear least squares solver to solve for the source fluxes. One can subsequently "predict" model visibilities by multiplying the solution vector $\vec{b}$ by the matrix M , and subtract these sources from the data. Re-imaging using

the DFT imager will then allow one to search for fainter sources that may become visible once the bright sources and their PSF side lobes have been subtracted, so they can be added to the model. This process is illustrated in Fig. 5.2.

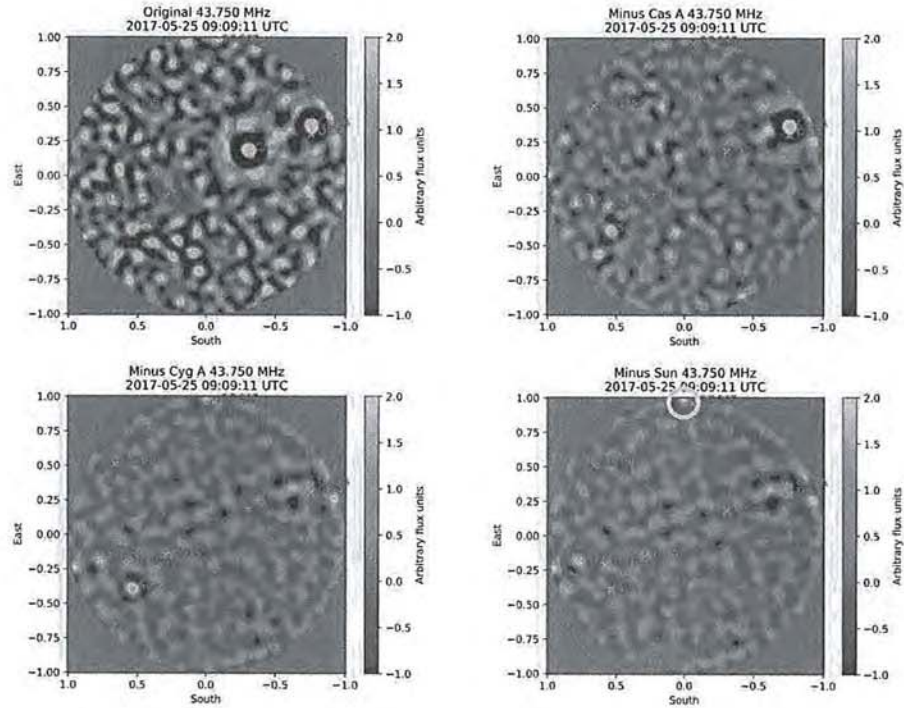


Figure 5.2: De convolving bright sources and their side lobes from the data.

At the end of this figure, Tau A is the brightest remaining source (red circle). Its side lobes. Those of the complicated Cygnus-X region of the Milky Way at $(-0.5, +0.3)$, as well as those of a vacation park on the west-north-western horizon still dominate the noise level, so in practice one has to continue this process until no new sources are found. The test signal is already visible in the graph (yellow circle). The matrix form introduced before also applies to the case where sources are nearby. The only thing that changes is the phase structure of the column relevant to source in the interferometric near field. For nearby sources, the incoming wave fronts are spherical instead of planar:

$$m_{pq} = w_p e^{-2\pi i v (\|\vec{r}_{2pq}\| - \|\vec{r}_{1pq}\|) / c}$$

where $\vec{r}_{1pq}$ is the vector from baseline p's antenna 1 to source q. Code example 5.5 shows subroutines that compute this matrix for a set of nearby sources. The columns of this matrix can simply be appended to the matrix for the astronomical sources to jointly solve for astronomical and nearby sources. Note that the result for the nearby source is its mean apparent flux density at the mean position of the array, not the EIRP of the source itself. The latter can nevertheless be deduced from the solution by comparing it with the apparent flux density of the calibrator source.

If the curvature of the wave fronts from a nearby source is not properly taken into account, and one simply assumes that the wave fronts will be planar like

the ones from celestial sources, one will underestimate the flux density of the source. Figure 5.3 nicely illustrates this point with data and calculations for the case of the validation observations conducted at LOFAR station CS302.

If the wind turbine is sufficiently nearby that it subtends more than one PSF FWHM across the horizon (λ/D , where λ is the wavelength, and D the array's diameter), one might need to define multiple nearby "sources" (also known as "voxels" or "volume elements", analogous to "pixels" in 2D) covering the entire area of the wind turbine at Nyquist sampled direction intervals, and add the fluxes in all of them to obtain the total emission of the wind turbine under test.

5 Measurement operations

- 5.1 Logistics: planning,
container,
operator(s)
 - <AFSPRAKEN MAKEN VOOR HET PLANNEN VAN DE CONTAINER EN DE OPERATOR.>
 - <EISEN TE STELLEN AAN DE SITUATIE BIJ DE LEVERANCIERS.>
- 5.2 Setting up
measurement
apparatus
- 5.3 Check ups
- 5.4 Data processing:
flagging, averaging,
storage, imaging,
conclusion
- 5.5 Results,
conclusions

Appendix 1: Antenna positions

<TABLE>

Publishing details

Commissioned by NS Reizigers BV

Published by Movares Nederland B.V.

Daalseplein 100
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

Telephone

Signer -

Project number RA003209

Reference E60-JRE-KA-1700061

© 2017, Movares Nederland B.V.

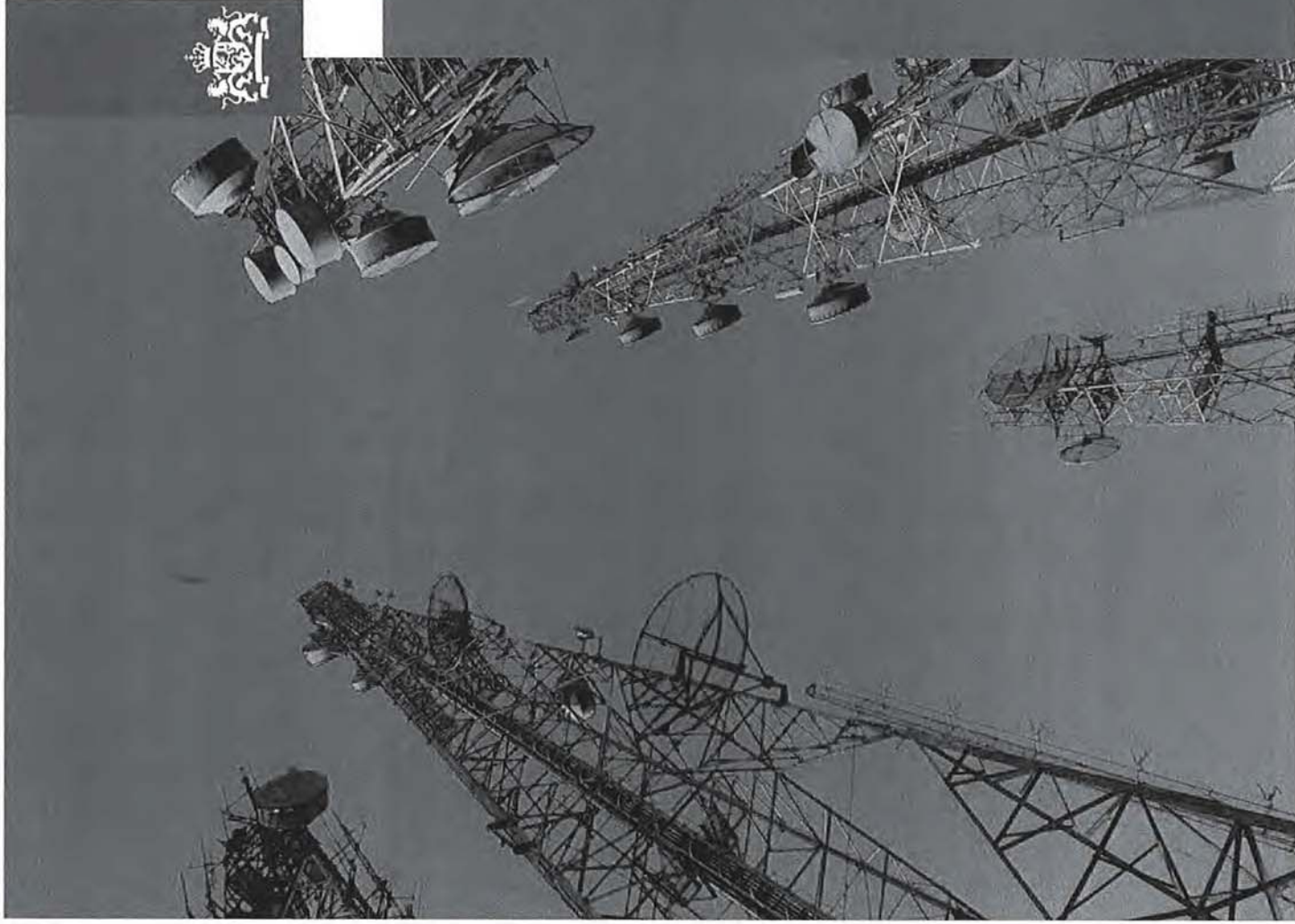
All rights reserved. No part of this edition may be reproduced, stored in an automated database or published in any form or by any mean, electronic or mechanical, including photo-copying and recording, without permission in writing from Movares Nederland B.V.

Productie 



Method for measuring the EMI radiation of wind turbines in relation to the LOFAR radio telescope

Presentation report, 16 Nov 2017





- What was the problem again? Covenant = solution
- How to assess?
 - Measurement method (project)
 - Challenges
- Conclusions
 - emphasis on required dimensioning, numbers
 - and type of antennas

=====
- Recommendations implementation

Problem + solution



Problem (interference report):

*Under these assumptions some **60 dB** is missing in order to prevent degradation of the LOFAR observations.*

Covenant solution:

Realised interference Reduction by wind park initiators	→ Consequences
<35dB with respect to the Norm	→ NO wind farm at all
≥35dB – <40dB w.r.t. Norm	→ severe operational restrictions
≥40dB – <50dB w.r.t. Norm	→ operational restrictions
≥50dB w.r.t. Norm	→ no operational restrictions

Project: Measurement Method



Project definition

The project aims at developing a measurement method which enables the realization of the covenant between ASTRON (LOFAR) and the initiators of windfarm "Drentse Monden en Oostermoer"

Result

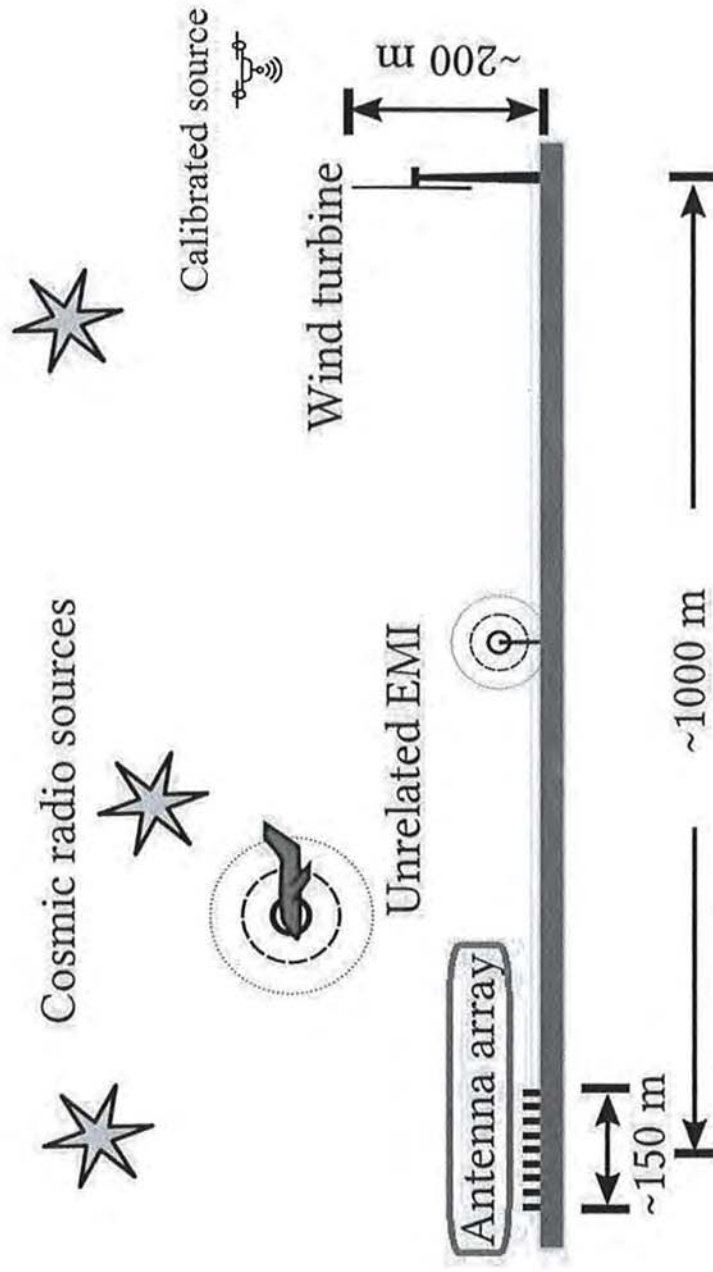
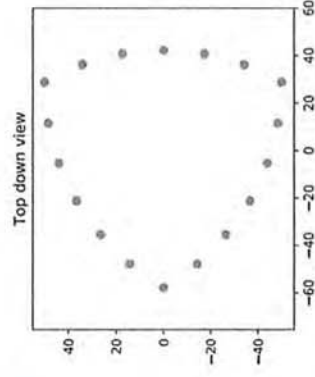
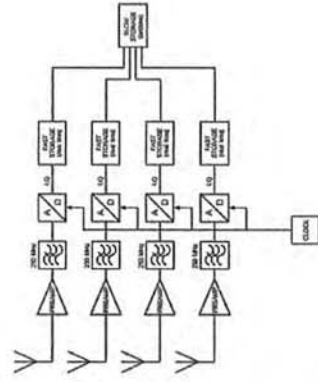
A measurement method, as much as possible supported by parties, which on the basis of its description provides for unambiguous results.

Conclusion first project meeting 9/12/2016: it is not considered impossible to develop and describe such a measuring method, and to demonstrate the method in time with a working prototype.

Challenges



Conventional solution and/or simple solution is not possible: antenna array





The report describes the background, principles and validation of the measurement method required by the covenant.
 The implementation of the method requires a separate engineering project, where especially the low frequency capabilities will lead to challenging choices.

It turns out that the biggest technical challenge lies in measuring the lower frequencies (30-60 MHz) as can be seen in the table below.

Required level below norm value	Required # of antennas at 30 MHz with array size D	Required # of antennas at 60 MHz with array size D	Required # of antennas at 120 MHz with array size D	Required observation time (s)
-35	18 (D=100 m)	18 (D=75 m)	18 (D= 75 m)	1000
-40	24 (D=100 m)	24 (D=75 m)	18 (D=100 m)	1000
-45	60 (D=150 m)	36 (D=75 m)	24 (D= 75 m)	1800
-50	96 (D=150 m)	60 (D=75 m)	36 (D= 75 m)	7200

Copy Table 1.1 number of antennas versus measurement level at 30, 60 and 120 MHz



Type of antennas

The type of antenna has a strong influence on the number of antennas needed. This is shown in the table below for the aspect of antenna gain.

Copy Table 7.1 Required # of antennas as function of absolute gain in dBi

Antenna dBi towards target	number of antennas -35 dB (1000 s)	number of antennas -40 dB (1000 s)	number of antennas -45 dB (1800 s)	number of antennas -50 dB (7200 s)	number of antennas -50 dB (7200 s)
-12	20	63	148	74	626
-10	13	40	94	47	395
-8	8	25	59	30	250
-6	5	16	38	19	158
-4	4	10	24	12	100
-2	2	7	15	8	63
0	2	4	10	5	40
2	1	3	6	3	25

Use of LOFAR itself

It turns out that a LOFAR station by itself is not able to do certification observations all the way down to 30 MHz. The full LOFAR core may be able to do this, but to establish definitively whether this is possible requires more detailed simulation work.

Recommendations for implementation



- More detailed simulations are needed to confirm the usability of the complete LOFAR core to do the measurements required by the covenant. Even then the use of this alternative would require a lot of additional work and adaptations of the processing chain
- Because LOFAR is designed to look up, to the sky, the LOFAR antennas are not optimal for measurements in a horizontal direction. Therefore it is recommended to choose a semi-mobile implementation of which the antenna array can be optimized for this target
- A vertical polarized log-periodic antenna, or any other antenna with sufficient suppression in the zenith direction like (a combination of) vertical monopoles, forms a suitable choice for a practical implementation
- The choice for a specific antenna has major consequences for the number of required array elements. This is finally up to the system designer of the implementation, because there is also a relation with required bandwidth and measurement duration
- Because of the required large relative frequency differences, it could well be easier and more economical to work with more than one antenna array, for example one for the range 30-80 MHz and another for 110-240 MHz

Productie 

Planning Meetmethodiek (concept versie 9 februari)

Parallel werken we aan twee meetscenario's voor de ontwikkeling van een EMC Windturbine Meetinstrument met postprocessing.

Scenario 1: Mini-Array

Scenario 2: Twee Antenne aanpak

Activiteit		Uitvoering	Opmerkingen	Start	Gereed	Status :-) :- :-(
MINI-ARRAY	TWEE ANTENNE AANPAK					
Beredeneren uit hoeveel antennes mini-Array zou moeten bestaan				8 feb	15 feb	
Uitrekenen hoeveel opslagcapaciteit nodig is voor beide secenario's				8 feb	15 feb	
Meettijd in relatie tot storings karakter, specificeren in de norm				8 feb	1 mrt	
Uitzoeken welk type Antennes en kabels er nodig zijn en wat bruikbaar en aanwezig is bij LOFAR				8 feb	6 mrt	
Test stoorbron samenstellen (Drone met zender, brede ruisbron, 5-250 MHz) sub 1 Definieren en zoeken naar bron zelf, type ruis bepalen sub 2 Keuze voor apparaat kosten??				8 feb	15 mrt	
	Twee Antenne aanpak hardware samenstellen en data verwerking			8 feb	15 mrt	
Site survey				15 feb	15 mrt	
Software modules kiezen en op maat maken				8 feb	6 apr	

Opslagcapaciteit beschikbaar maken					6 apr	
Sub: online correlator wel/niet nodig? Michiel						
	Test locatie uitkiezen	?	Twee antenne aanpak: Wel/niet bij turbine ?	1 mrt	15 mrt	
Vorbereiding mini-Array: specificeren benodigde antennes en gevoeligheid				20 feb	1 apr	
Pre tests aan windturbines			Bij Lagerwey	15 mrt	1 apr	
Test locatie uitkiezen				nmb	nmb	
Ijken op LOFAR				27 mrt	29 mrt	
Antennes Zuid-Afrika invliegen				1 feb	20 april	
Afstemming commissie deelnemers				1 mei	1 juni	
Schrijven meetprotocol				1 mei	1 juni	
	uittesten op een draaiende windturbine			1 mei	1 juni	
uittesten op een draaiende windturbine			Nog onbekend, afhankelijk van haalbaarheid scenario			
Review meetprotocol				31 mei	7 juni	
Opleveren prototype					19 juni	

Nwe actie: Samenstellen van demonstrator / hardware, denk aan GPS en aggregaat

Vaststellen meetonzekerheid (beide aanpakken)

Concept versie 3: hoeveel antennes zijn er nodig voor mini array:

Supply

beoordeling en keuze analyse voor omvang mini-Array > id werkgroep
af op 1 mrt

clock distributie systeem, aansturing vd ontvangers:

valideren in stapjes: wat hoort erbij

gaat om validatie, demonstrator is logisch gevolg

- op tijd antennes?
- budget voor drone

Kosten Drone? Wie zoekt dat uit?

Productie





Meetmethode EM windturbines

Plan van Aanpak

Aan

Van

Akkoord:	Ja / Nee
Paraaf:	
Datum:	

Versie: Concept 0.1
Projectnr:
Datum: 15 februari 2017

Inhoud

1	Projectdefinitie—4
1.1	Projectmotivatie—4
1.2	Doelstellingen & resultaten—4
1.3	Scope—4
1.4	Randvoorwaarden en beperkingen—5
1.5	Relaties met andere projecten—5
1.6	Acceptatiecriteria—5
2	Projectrisico's—6
3	Projectorganisatie—7
4	Projectplanning en -begroting—8
4.1	Planning aannames—8
4.2	Productbeschrijvingen—8
4.3	Planning, uren en kosten—8

Versiebeheer

Revisiegeschiedenis

Versie	Datum	Aanpassing	Auteur
0.1	15/02/2017		Louwrens

Distributiegeschiedenis

Versie	Datum	Aan

Referentielijst

Bij het opstellen van deze projectopdracht is gebruik gemaakt van de volgende brondocumenten:

Nr.	Naam document	Versie	Datum

1 Projectdefinitie

Dit document betreft project **Meetmethode EM stoorstraling van windturbines** en omschrijft de projectopdracht en scope.

Met dit document wordt goedkeuring gevraagd voor de opdrachtdefinitie en scope om vervolgens te mogen starten met het uitwerken van het plan van aanpak van genoemd project.

Met het project wordt beoogd een meetmethode te ontwikkelen die de uitvoering van het convenant tussen ASTRON (LOFAR) en de initiatiefnemers van het windpark Drentse Monden en Oostermoer mogelijk maakt.

1.1 Projectmotivatie

MEZ heeft in het inpassingsplan voor het windpark Drentse Monden en Oostermoer, dat in de buurt komt te staan van de LOFAR kern, als voorwaarde voor exploitatie van het windpark op te nemen dat het convenant tussen deze partijen wordt nageleefd.

In dit convenant is bepaald dat onder leiding van AT een meetmethode ontwikkeld en door AT vastgesteld zal worden voor de bepaling van de daadwerkelijke EM stoorstraling veroorzaakt door het windpark. Deze meetmethode wordt gehanteerd om alle metingen voortvloeiende uit dit convenant te verrichten.

1.2 Doelstellingen & resultaten

Doelstellingen

Met medewerking van de convenant partijen gaan we een meetmethode ontwikkelen voor de bepaling van de daadwerkelijke EM stoorstraling veroorzaakt door het windpark. Deze meetmethode dient vastgesteld te worden voor 19 juni 2017. De aldus ontwikkelde en door AT vastgestelde meetmethode zal gebruikt moeten kunnen worden om alle metingen voortvloeiende uit dit convenant te verrichten. Deze meetmethode wordt ook gebruikt voor een door de coördinatiecommissie op te zetten programma voor doorlopende monitoring tijdens de exploitatie.

Resultaten

Zo veel mogelijk door partijen gedragen meetmethode, die op grond van de beschrijving eenduidige uitkomsten levert.

1.3 Scope

In scope

- De meetmethode in operationele vorm, meetinstructies
- Verificatie van de meetmethode voor de beoogde gevoeligheid
- Demo meeting aan bron op hoogte > 100m
- Check equivalentie met LOFAR-zelf

Out of scope

- Reflectiemetingen
- Bepaling emissie niveaus van bestaande windturbines

1.4 Randvoorwaarden en beperkingen

De meetmethode dient een maand voor de datum van vaststelling gedemonstreerd kunnen worden.

1.5 Relaties met andere projecten

Onderzoek EM effecten windturbines in het algemeen, op diverse radiodiensten .

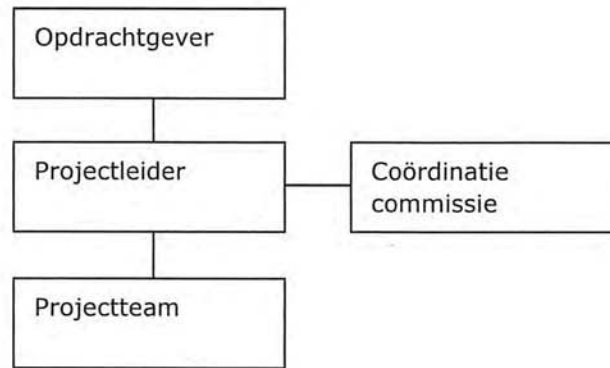
1.6 Acceptatiecriteria

Meetmethode kan stoorstraling van een windturbine meten tot 50dB onder de norm.

2 Projectrisico's

Risico en issue log project <projectnaam>											
Nummer	Soort	Datum ingediend	Omschrijving risico / issue	Gevolg	Kans	Effect	Risico	Maatregel	Eigenaar	Datum Gepland Gereed	Status voortgang
1	I	19-09-16	Issue: de bestelling van meetantennes neemt veel tijd, door de te hanteren procedure	Er is veel tijd, arbeidskosten en andere middelen verloren.	H	M	H	a) Stoppen met de opdracht b) Alternatief zoeken c) Dispuut aantekenen op de DICTU kosten aangezien er niets geleverd is.		20-04-17	Onderhanden
2	R	1-02-17	vaagheden in "Norm"	lange moeizame discussies	M	H	H	Concretiseren norm		10-03-17	
3	R	1-02-17	problemen metingen lage nivo's	vertraging door veel experimenteren	M	M	M				
4	R	1-02-17	praktische problemen uitvoering meting, door lastige omstandigheden (grote hoogte bijv.)	vertraging door afhankelijkheid weersomstandigheden en extra materieel	M	M	M				
3	I	20-02-17	Issue: Kosten voor meten op hoogte met een Drone zijn niet begroot. Kosten externe inhuur.	Budgetoverschrijding met nog onbekend bedrag	H	M	H	Kosten definiëren en terugkoppelen aan opdrachtgever		3-03-17	
3	R				L	M	L				
7	R										

3 Projectorganisatie



Productie 



TERUGBLIK

Onderwerp *Bijeenkomst windturbinefabrikant Nordex en Coördinatiecommissie Convenant co-existentie windpark de Drentse monden & Oostermoer en LOFAR*

Datum bespreking 14 maart 2017

Plaats bespreking / Agentschap Telecom, Vergaderzaal Oldambt

Location Emmasingel 1, Groningen

Commissie deelnemers/ (AT - vz) - Windpark Oostermoer

Participants (secre) Exploitatie BV

- AT - Duurzame

Astron Energieproductie Exloërmond BV

Windenergie BV - Raedthuys

- adviseur Initiatiefnemers

Namens Nordex waren aanwezig en via Skype luisterde Hieronder een (niet uitputtende) samenvatting.

Na introductie en presentatie is er een goede inhoudelijke uitwisseling over de karakteristieken van de EM stoorstraling van windturbines en de meetmethodiek, onder andere de duur van meten en het belang van het kunnen onderscheiden van omgevingsstoring.

Nordex laat in een presentatie zien actief te zijn in een aantal Europese standaardiseringsgroepen. Het bedrijf heeft ervaring met speciale projecten voor noise reduction bij onder andere Duitse militaire terreinen en de Karoo radiotelescoop in Zuid-Afrika. Er worden drie categorieën van reductie getoond: simpel, medium, deep technical. Categorie 1 is wat ze nu standaard doen.

geeft aan dat met meerdere slagen om de arm- molens van Nordex (bij München) op dit moment 10-15dB onder de norm lijken te zitten (data van een LOFAR buitenstation op 3,5 km). Nordex schat dat 10 tot 20dB extra reductie haalbaar is op hun huidige configuratie.

Nordex geeft aan dat al hun turbines op afstand zijn aan te sturen en er een centrale control room is waar ook heel veel verschillende soorten data wordt verzameld. Op de vraag van Nordex of het gaat om één of meerdere type turbines voor het windpark geeft aan dat dit nog onderwerp van gesprek is.

Afhankelijk van de keuze voor beton(hybride) of staal, kan het transport van de molens nog een serieus aandachtspunt zijn.

Eindconclusie: Nordex ziet grote reductie mogelijkheden.

Productie

79



Emmasingel 1
9726 AH Groningen
Postbus 450
9700 AL Groningen
T (050) 587 74 44
F (050) 587 74 00
www.agentschaptelecom.nl
Info@agentschaptelecom.nl

Opgemaakt door

verslag

Nummer

1

Bijlagen

-

Onderwerp / Overlegorgaan	Coördinatiecommissie Convenant co-existentie windpark de Drentse monden & Oostermoer en Lofar
Datum bespreking	2 november 2016
Plaats bespreking	Amersfoort
Deelnemers	
Afwezig	
Afschrift aan	

1) Afspraken werkwijze commissie

Er zijn twee partijen in het convenant: Astron en de Initiatiefnemers. Besluiten worden alleen genomen als beide partijen instemmen. Beide partijen hebben één stem.

Beide partijen stemmen ermee in dat de vaste vergadergroep bestaat naast voorzitter en secretaris uit maximaal zes personen: maximaal drie afgevaardigden namens Astron en één afgevaardigde namens elke initiatiefnemer.

De vergadergroep neemt voorlopig deel voor de verbinding met AT. Eventueel worden experts van buiten uitgenodigd.

Aan het einde van elke bijeenkomst wordt bepaald wanneer de volgende vergadering plaatsvindt. Vergaderlocatie is Amersfoort, eventueel Groningen. Daarnaast behoort een bezoek aan Astron in Dwingeloo tot de mogelijkheden.

Na elke bijeenkomst brengt de voorzitter bilateraal verslag uit bij Economische zaken. Eens in de drie maanden krijgt EZ een schriftelijke update.

AT brengt haar kosten voor deelname aan de coördinatiecommissie en voor invulling van het secretariaat in rekening bij EZ. Hetzelfde geldt voor de kosten van het ontwikkelen van de meetmethode door AT.

Wie de uitvoeringskosten van het Monitoringsysteem zal dragen, is nader te bepalen: of de betrokken partijen of EZ.

De commissie constateert dat de hoofdpdracht is invulling te geven aan het convenant en eventuele wijzigingen in gezamenlijkheid vast te stellen.

2) Meetmethode

AT geeft een toelichting op het voorwerk dat door AT is gedaan n.a.v. de vraag of er een meetmethode te ontwikkelen valt die de EM-stoorstraling afkomstig van het windpark kan meten. Op dit moment worden door AT verschillende opties voor de methodiek geïnventariseerd. Het frequentiegebied waarbinnen gemeten wordt is zeer gevoelig en vraagt geavanceerde meetapparatuur. AT zal bij de ontwikkeling van de methode overwegen ook te gaan experimenteren bij windturbines. AT verwacht met zijn meetmethode een verantwoorde indicatie te kunnen geven van de verwachte stoorstraling van de geplande windturbines. De meetmethode wordt uiterlijk 19 juni door AT opgeleverd. [redacted] is projectleider.

Partijen geven aan dat bij de opzet van de methodiek duidelijk moet zijn dat het doel is om zowel daadwerkelijk bij Lofar als bij de windturbines te meten. Vooraf geeft de methodiek de verwachte stoorstraling. Als het windpark er eenmaal staat moet de meetmethode de feitelijke stoorstraling kunnen meten.

De initiatiefnemers onderstrepen het belang van een makkelijk repeteerbare meetmethodiek.

Eind november houdt het AT-project een workshop waarbij verschillende experts worden uitgenodigd om ideeën en opties te delen. Beide convenantspartijen kunnen hiervoor namen aanleveren bij [redacted]. Fabrikanten nemen niet deel aan de sessie.

AT geeft op vrijdag 16 december in de Commissie een presentatie van het plan van aanpak en daarmee inzicht in de te ondernemen activiteiten en op te leveren producten. Doel is draagvlak te creëren voor het plan van aanpak, de uitgangspunten van het meetsysteem te delen en het tijdschema tot juni.

De initiatiefnemers overwegen een externe deskundige in te huren om hun bij te staan. [redacted]

Mocht er in juni geen overeenstemming zijn binnen de commissie over de definitieve methodiek, dan stelt AT zelfstandig de meetmethode vast.

3) Monitoringsysteem

Dit punt wordt aangehouden.

4) Reductie Initiatiefnemers

Er is voldoende EMC deskundigheid bij de fabrikanten volgens AT. De Industrie ziet mogelijkheden. Dit verschilt per bedrijf. Echter, pas als uit de meetmethode blijkt hoe de stoorstraling inwerkt op Lofar, kunnen de fabrikanten windturbines gaan ontwikkelen meer gericht op het programma van eisen van het windpark Drentse Monden en Oostermoer.

De fabrikanten worden door de commissie uitgenodigd voor elk een individuele bijpraatsessie in januari. De secretaris stelt een concept uitnodiging op. Doel is hen te informeren over stand van zaken van het windconvenant en daarnaast de

vraag aan de fabrikanten te stellen welke stappen zij hebben gemaakt en gaan maken in de zoektocht naar reductie van stoorstraling.

5) Reductie Astron

Astron is een R&D project gestart. De reductie moet worden gerealiseerd door spatieel te filteren. De volgende bijeenkomst presenteert Astron een aanpak en tijdschema.

6) Overige punten

Astron geeft aan dat het Blokkensysteem (artikel 4) nader moet worden uitgewerkt. Deze wordt toegevoegd aan de lijst met te specificeren punten en komt later aan bod.

Eventuele andere punten die nadere uitwerking vragen kunnen worden gemaild aan de secretaris.

De partijen mailen hun reactie en uitwerkingssuggestie naar de secretaris wat betreft de overige punten die bij de agenda zaten.

7) Rondvraag

De commissie constateert unaniem dat het eerste overleg constructief is verlopen, met de juiste inhoud en met respect voor elkaars belangen.

Actielijst bijgewerkt op 2 dec.

Actie	Verantwoordelijke	Datum gereed
Aanleveren namen voor deelname AT-workshop bij secretaris	Beide convenantspartijen;	Zsm
Externe deskundige inhuren tbv beoordeling meetmethodiek	Initiatiefnemers;	Zsm
Opstellen uitnodiging aan fabrikanten voor bijpraatsessie	Secretaris;	Zsm
Reactie en uitwerkings-suggestie nog te specificeren punten	Beide convenantspartijen;	Nader te bepalen
Presentatie in commissievergadering: aanpak meetmethode	Projectgroep AT:	16 december
Presentatie in commissievergadering: Aanpak Astron reductie	Astron:	16 december (afhankelijk van tijd/ruimte agenda)
Meetmethode ontwikkelen	Projectgroep AT	19 juni 2016

Productie





verslag

Nummer

2

Bijlagen

Onderwerp / Overlegorgaan	Coördinatiecommissie Convenant co-existentie windpark de Drentse monden & Oostermoer en Lofar
Datum bespreking	16 december 2016
Plaats bespreking	Amersfoort
Deelnemers	

1) Mededelingen

- meldt dat EZ is bijgepraat en men blij is met de stand van zaken.
- meldt dat de initiatiefnemers in januari selectiegesprekken voeren voor een externe expert

2) Verslag van 2 november

Er zijn geen opmerkingen bij het verslag.

3) Presentatie aanpak meetmethode

laat in een drietal sheets de stand van zaken zien van de meetmethode. De doelstelling is specifieker gemaakt. AT gaat voor een gedragen en goed uitvoerbare meetmethodiek. Er ligt op 19 juni niet alleen een beschrijving van de meetmethode, maar AT maakt ook een prototype meetopstelling. Die opstelling zal een samenstelling zijn van antennes/apparaten en geen strak design hebben.

Rol fabrikanten

vraagt in hoeverre de fabrikanten moeten of kunnen aangeven waar de stoorstraling vandaan komt. geeft aan dat de meetmethode de hele molen meet en niet een onderdeel. Dat zal ook de boodschap zijn op 25 januari bij het fabrikantenoverleg: het gaat om de totale stoorstraling.

Binnen het project wordt bij de voorbereiding wel gemeten aan molens. AT wil fabrikanten niet direct mee laten denken in het proces. Zowel Astron als initiatiefnemers vinden het wel belangrijk dat fabrikanten input krijgen vanuit AT over de methodiek zodat ze er in hun eigen processen rekening mee kunnen houden ter voorbereiding.

Afgesproken wordt dat het meetproject een tussenproduct inplant om te delen met de fabrikanten. En als AT behoefte heeft, neemt het project initiatief voor technisch overleg met de fabrikanten.

De meetmethode wordt in het Engels opgesteld vanwege het internationale speelveld.

Budget en bemensing

geeft aan dat voor het meetproject een offertetraject loopt bij EZ. De verwachting is dat er budget vrijgemaakt kan worden.

Astron is bereid specialistische kennis te leveren, maar wil hierbij voor alles de schijn van belangenverstrengeling voorkomen. In reactie hierop geeft aan dat het weliswaar een gezamenlijk project is, maar dat AT in de lead is en verantwoordelijk voor het eindresultaat.

Afgesproken wordt dat zsm rechtstreeks aan en laat weten hoeveel uren en welke kennis nodig is ivm interne planning Astron.

In de tweede helft van februari is er opnieuw een bijpraatsessie tussen commissie en AT-meetproject

4) Reductie Astron

Astron heeft via interne mailings en bijeenkomsten medewerkers/wetenschappers bijgepraat over de gevolgen van het convenant. Naast de begrijpelijke frustratie was er ook een constructieve houding om te gaan ontdekken hoe hiermee om te gaan in de eigen processen.

Er wordt voor de reductie gewerkt aan een stappenplan voor filtering door algoritmes. Het referentiesignaal dat gebruikt gaat worden om te kijken hoe dat filter werkt is mogelijk ook interessant voor het AT-project.

Lofar gebruikers gaven de waarschuwing dat eigenlijk de karakteristieken van een echte windmolen nodig zijn om de impact te beoordelen.

5) Voorbereiding gesprekken windturbinefabrikanten januari

Afgesproken wordt dat het fabrikantenoverleg een bijpraatsessie zal zijn op hoofdlijnen en geen technisch overleg. Voertaal is Nederlands, alleen het deel over het meetprotocol zal in het Engels zijn. Er is geen mogelijkheid om in te bellen via teleconference.

Inhoudelijk zal worden aangegeven wat er verwacht wordt van de meetmethode en wat de fabrikanten kunnen inbrengen. Voor een techniek sessie worden de fabrikanten apart uitgenodigd. haalt info op bij EZ om punt 1c toe te lichten. zorgt dat de

fabrikanten de Engelse vertaling krijgen van het AT-onderzoek, de agenda en uitnodigingen. Verder contact vanuit het AT-project met fabrikanten loopt ook via / secretariaat commissie.

Agenda zie onderaan.

6) Rondvraag

benoemd nog eens het belang van een goede geijkte meetmethode, juist vanuit fabrikantenperspectief. Agenda volgende bijeenkomst: Terugblik 25 jan, Stavaza AT-project, Stavaza Astron, spaarlijst uit convenant.