

result of the high power test at 1000 m distance for both 50m and 100 m height. The SN ratio of the received power and the receiver noise floor in 100 Hz bandwidth is also given.

Distance=1000 m Frequency [MHz]	Altitude 50 m		Altitude 100 m	
	Level [dBm]	SN ratio [dB]	Level [dBm]	SN ratio [dB]
31.25	-103	38	-101	40
43.75	-93	47	-90	50
56.25	-101	40	-97	43
68.75	-105	35	-102	38
118.75	-120	23	-117	30
131.25	-115	27	-114	32
143.75	-117	25	-115	32
156.25	-120	21	-120	27
168.75	-117	25	-117	30
181.25	-111	30	-115	33
193.75	-110	31	-115	33

Table C1 Received signal levels and signal to noise ratios in a 100Hz bandwidth of the high power test at a distance of 1000m and heights of 50 and 100m

The antenna was positioned on a tripod and slanted for practical reasons. Since the generated signal was vertically polarised there is some additional insensitivity.

The test signal is clearly visible in all cases, for the low band on an average of 40dB and for the high band 30dB above the noise floor of the receiver. A signal with the -35dB relative level would be detectable for the low band with a single antenna but not for the high band provided that the signal is narrowband (<100 Hz). For real signals with a larger bandwidth than 100 Hz a single antenna element cannot be used as already explained in annex E.

As already mentioned one important factor to be taken into account is the directivity towards the zenith and the interferer. A large part of the processing method is based on the elimination by filtering of interferers which are present in the sky. An antenna system with a suppression towards the sky and some gain in the direction of the interferer is preferred over an antenna with a large overall omnidirectional gain. Figure C2 shows the radiation pattern of both the LOFAR LBA element and the LPDA-A0097 log periodic antenna at 1,5 m above ground at 50 MHz.

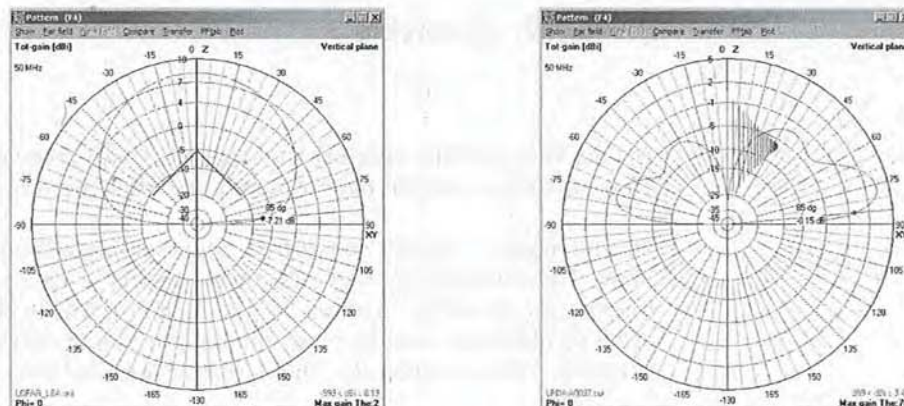


Fig C2 Vertical antenna patterns, total gain of LBA antenna and log periodic antenna LPDA-A0097 at 50 MHz

The patterns are plotted in the direction of the max vertical gain. Average ground was used for the ground model; a patch was used for the LBA groundplane.

NOTE: In previous simulations and calculations for the processing of data for this experiment simulations were performed in the direction of antenna as used during the experiment. This results in a slightly lower gain at low angles for the latter.

Considering the gain of the log-periodic antenna and its radiation pattern the antenna was found suitable for a future measurement system provided the antenna pattern is determined for the whole frequency range. This pattern is dependent on the height above ground vs the frequency so multiple measurement heights may be necessary.

As already said, this LPDA antenna is just an example of a commercially available antenna. Other antennas such as vertical monopoles might also be applicable. A similar analysis needs to be made for any other type of antenna to be used in the measurement system.

Annex D: Receivers

For the choice of the receiver the original LOFAR receiver can be used as a guideline. 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	-141 dBm/Hz	-140 dBm/Hz
Preamplifier gain	25 dB	22 dB	27 dB
Noise density@ input receiver	-164 dBm/Hz	-169 dBm/Hz	-167 dBm/Hz
Noise figure	10 dB	11 dB	13 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 a 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.

Annex E: Rejected measurement methods

Using the data from the previous sections different scenarios for a possible measurement method are proposed. It was clear from the beginning that not all of these proposals are practical or achievable, but they are mentioned to have a complete overview of what was discussed in the project team.

Near field scan

A near field scan is a multipoint measurement of radiated power at a short distance from which the radiated power at a larger distance (in the far field) can be derived. This is a method often used for measurements on large antennas where for example the antenna diagram cannot be practically measured in the geometric far field. When employing such a scan it is required to know the phase and amplitude of the individually measured components.

When measuring the radiation from a wind turbine the phases of the individual components are not known and also not phase coherent. We also have to scan an estimated vertical plane of 100 m x 50 m at an operating wind turbine which implies serious safety considerations. The near field scan also needs to be performed in such a way that all points in this plane are measured in a time interval in which the radiation pattern doesn't change, (near real time). A near field scan is therefore not possible from a practical point of view.

Besides the fact that **a near field scan is not possible from a practical point of view** it is also not possible to measure amplitude and phase in real time.

Regular EMC approach

The regular EMC measurement is a near field measurement in a single point or using a, sometimes limited, height scan and has the same limitations as the near field scan due to the mechanical size of the radiator. In contrast to a near field scan or far field measurement an EMC measurement lacks the possibility to include, partly or in full, the dynamic effects of the rotating blades of the wind turbine. A single EMC measurement therefore does not give insight in the effect of the most important interference mechanism. A sequence of EMC measurements at different points, possibly at short distance, may give a better result about the dynamic behaviour but here we also have the limitations of the near field scan. An absolute field strength measurement is not possible since it is not possible to compensate for the field strength interference pattern as described in section 6.2.

It is possible to investigate the emissions from a wind turbine from a very short distance or inside the wind turbine, even with portable equipment, to identify the main emission sources. Also the main interfered frequencies can be identified. This may be useful during a pre check but has ofcourse no relation with any e.i.r.p. value or value from the covenant.

The method **does not fulfil the requirements of an absolute field strength measurement** however the method can be used during a pre check to support corrective actions.

When we reduce the measurement distance we encounter similar issues as with the near field scan and the EMC method but in a less problematic form. No statement however can be made about the absolute field strength.

At short distances it is not possible to perform a meaningful field strength measurement as with the EMC method but at larger distances this is possible. It is therefore necessary to measure outside the first Fraunhofer region, but there is a frequency limitation of what can be measured and what not. See table 1 for some distances related to the frequency, at 75MHz the required distance is already too far to perform a field strength measurement with standard equipment.

The method **does not fulfil the requirements of an absolute field strength measurement** for the entire frequency range.

Standard measurement equipment and the application of decimation and processing

Decimation based on Cascaded Integrator Comb (CIC) filtering can increase the dynamic range with multiple bits resulting in about 30-40dB based on a decimation with a factor 100. It is therefore necessary to record the signal broadband in IQ format and to process it. There is a possibility to do this in "real time", but for cost reasons it is more attractive to store the data and perform the processing offline. An advantage is that we can use cost effective off the shelf equipment and the processing is also relatively cheap. There are two disadvantages. Decimation has a limited possibility to increase sensitivity so the measurement distance is still within the near field region. Because of the processing there is a chance that the dynamic nature of the interference is lost. In combination with a high gain Low Noise Amplifier (LNA) this option might be a possible solution for the sensitivity issue but not for the complications associated with a near field measurement. This means that this method cannot be performed with a single receiver and antenna setup.

Because of high cost and the very limited possibilities compared to the method in section 3.3.6, it was decided not to further develop this method.

Standard measurement equipment and cross correlation

This method needs two coherent receivers and two antennas; one antenna is pointed at the interference source and the other is pointed in a different direction, not too far off the direction of the interfering source.

Cross correlating the signals of both receivers lowers the noise floor about 10dB. An oscilloscope or computer may be used as indicator.

The method cannot be used as an absolute field strength measurement method since it is not possible to compensate for the field strength interference pattern as described in section 6.2.

The method is extremely frequency sensitive so only narrowband measurements are possible without recalibrating the setup. The directivity of the antennas and the actual presence of interferers has a large effect on the applicability of this method.

The method **does not fulfil the requirements of a calibrated field strength measurement**.

Annex F: Validation experiment

The first step to come to a practical solution after the analysing the design criteria is to generate a test signal to be received with all 48 antenna pairs in one of the LOFAR core stations. In order to test the necessary number of antennas and the development of the measurement and analysis algorithm a drone was used to simulate the -35dB reference level agreed in the covenant. With this level it is also possible to verify the theoretical calculated number of antennas required to obtain higher sensitivities such as -45 and -50 dB below the reference level. Two levels were generated, the 0dB level of the EMC standard EN55011-A1 and the actual covenant level which is 35dB below this level. The used frequencies were 31.25, 43.75, 56.25, 68.75, 131.25, 156.25, 168.75 and 181.25 MHz. Each was observed in a 170 kHz subband. For this reason the power level generated was set to the values in table F1. An additional 3 frequencies were used in the high band to check the log periodic antenna.

	P e.i.r.p.	P e.i.r.p. (dBm)	Equivalent flux density @ 600m in 170 kHz	Equivalent flux density @1000m in 170 kHz
Ref level	0,47 μ W	-33,2	61 MJy	22 MJy
-35dB level	0,15 nW	-68,2	19 kJy	7 kJy

Table F1 Power levels for the test

As can be seen in the table, the generated signal level is compensated for by the 170 kHz observation bandwidth. Since in principle all power may be spread over the whole 170 kHz bandwidth, this signal is significantly higher than the values in figures 6.3 and 6.4.

The LOFAR antenna field used in the test consists of crossed antenna elements providing two perpendicular polarisations to the azimuth. The field consists of a low and high band section, therefore the test was split in a separate 30-70 MHz and 70-200 MHz test. The low band section consists of inverted V's used as a single element and the high band section of elements combining 16 element bow tie antennas. In the 16 element bow tie section only one element was used to provide a better low angle sensitivity.

The drone was flown at 4 different positions: two different distances 1000 m and 500 m and two different heights 100 m and 50 m. The flights were split in a HBA and LBA part and performed on two different days, see table F2 for details.

Generator level relative to EMC reference level	1000 m Day-3	1000 m Day-2	500 m Day-2	500 m Day-3
0 dB	LBA	HBA	LBA	HBA
-35 dB	LBA	HBA	LBA	HBA
$-\infty$ dB	LBA	HBA	LBA	HBA
0 dB	-	-	LBA	HBA

Table F2 Power levels for the test

The 0dB level is used for absolute level calibration. For the final measurement setup a similar calibration source with known e.i.r.p. in the direction of the measurement setup is needed. This source does not need to be drone deployed but can be placed for example on the nacelle or the tower of the wind turbine.

Besides the two signal levels a sanity check was performed using the drone with connected antenna, and installed beacon but without powering the beacon. This was for assessing the possible EMI radiation from the drone itself.

To achieve sufficient sensitivity to detect the agreed upon maximum emission levels from wind turbines at approximately one km away, one requires multiple antennas as described in section 6. Clock synchronisation and time distribution of ADC's is required and data needs to be time-tagged (in our case in UTC).

The primary data consists of complex voltage (I/Q) data from every single antenna. The bandwidth per data stream could be anything from 1 MHz to the full 220 MHz. In our case we used four, 170 kHz bands in the low frequency range and 4, 170kHz bands in the high frequency range (a total of 8 bands).

The measured data was processed offline and imaged to check the level and direction of the emission. The signal processing steps are described in detail in section 6.

This section will be completed in the future with more information from the measurement campaign.

Revision table

Version	Date	remarks
0.19	12-07-2017	First internal review
0.29	31-07-2017	Major restructuring, substantial additions, second internal review
0.90	08-08-2017	Final version for external review
0.91	23-08-2017	Modified based on external review
0.92	29-08-2017	Modified based on external and internal review for check
0.93	04-09-2017	Update with check reviewers
0.94	06-09-2017	Conclusions and recommendations added; typos.
0.95	07-09-2017	Added Reuleaux explanation, new Table 7.3; typos
0.96	08-09-2017	Extended Table 1.1, final edit Ch.8
1.00	08-09-2017	Final version for coordination committee

Productie 35

Agentschap Telecom
Ministerie van Economische Zaken



Meetmethode Stand van zaken

7 april





Terugblik vorige technisch overleg

- Twee antenne aanpak niet geschikt voor go/no go
- Wat is er veranderd t.o.v. 23 maart?
- Welke mogelijkheden zien we?



Wat levert de Twee antenne aanpak op?

- Twee antenne aanpak is geschikt als engineering tool voor fabrikanten
- Indicatie met meetonzekerheid -10dB tot + 10dB
- Praktisch: 1 dag meten (excl. reistijd)

Uitzoeken / keuzes:

- Antennes uitlenen met beschrijving, fabrikant meet zelf
- Antennes uitlenen, AT gaat mee
- AT doet gehele meting



Welke stappen zien we?

1 Twee antenne aanpak aanbieden aan fabrikanten

Vraag CoCo: nut/noodzaak bij fabrikanten?

2 Optie a: Testmolens op windparklocatie

Optie b: Mobiele mini Array (tot -50dB)

- Kosten: ca. 2,5 mln
- Doorlooptijd: *[invullen]*

3 Monitoring met heel LOFAR

Productie 



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

Van

memo

Kamervragen Windmolens Barendrecht en Binnenmaas

Datum
31 juli 2015

Maandag contact gehad met [redacted] van het ministerie I&M.
Met hem de vragen doorgelopen en tot de conclusie gekomen dat wij eigenlijk
weinig kunnen bijdragen aan de beantwoording van deze vragen.
Deze conclusie komt voort uit het bestaan van de Beleidsregel voor het plaatsen
van windtubines op, in of over rijkswaterstaatswerken.
In artikel 4 lid 1 van deze beleidsregel staat: Langs kanalen, rivieren en havens
wordt plaatsing van windturbines toegestaan bij een afstand van ten minste 50m
uit de rand van de vaarweg.

Dat Rijkswaterstaat tot de afstand van 50 meter is gekomen komt voort uit
diverse onderzoeken die zij hebben laten verrichten. Een deel van de onderzoek
rapportages is op de website van het ministerie I&M te vinden. Ik heb enkele ook
gedownload en op de T schijf geplaatst: T:\AT\RDRDATA\S\Public SM\radiostoring
door windturbinerreflecties\windmolens
Op basis van deze rapporten en informatie die [redacted] bij RWS
kan opvragen zijn de gestelde kamervragen prima door I&M zelf te beantwoorden
zonder onze inbreng.

Enige nog openstaande punt is eventuele verstoring door EMC van de windmolens.
Windmolens gelden voor onze regelgeving als vaste installaties en dienen te
voldoen aan de essentiële eisen van de EMC richtlijn.
Ik heb bij [redacted] van T nagevraagd of er bij hem meldingen bekend zijn op dit
gebied. Enige bij hem bekende klacht is al weer van geruime tijd geleden. Deze
klacht had betrekking op verstoring van modelbesturing in de Flevopolder.

[redacted] zou proberen nog deze week een conceptantwoord op
te stellen en toe te sturen. Dat heeft hij tot nu toe (vrijdag 11:00) nog niet
gedaan.

Met vriendelijke groet

Productie

37



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

Bijeenkomst 19 juli 2018

Agendapunt 4: rol AT bij 'meten met LOFAR'

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

Van

T 06 -

Datum
17 juli 2018

memo

Invulling rol AT

Hieronder staat uitgelegd wat het windconvenant zegt over de toezichtsrol van AT en welke vervolgstappen nodig zijn als gemeten gaat worden met LOFAR. Deze memo is input voor de bespreking om vast te stellen wat de uitgangspunten zijn bij de rol van AT.

Convenant: meetmethode is leidend, meetinstrument niet benoemd

Het convenant bepaalt dat de vastgestelde meetmethode leidend is. De exacte implementatie en het feitelijke meetinstrument staan niet in het convenant benoemd. Blijkt meten met LOFAR mogelijk? Dan is daarbij ook de voorwaarde dat de metingen voldoen aan de meetmethode. Het convenant hoeft hiervoor niet te worden aangepast. Dit geldt voor zowel de validatie van de windturbine als de lange termijn monitoring van EM-stoorstraling voor het gehele windpark.

De meetmethode zelf staat meten met LOFAR niet in de weg, meten met de LOFAR core wordt in het eindrapport genoemd als nader te onderzoeken mogelijkheid.

Rol AT bij validatie

In het convenant staat geen beschrijving van de rol van AT bij het valideren van de nieuw te bouwen turbine. Wel zijn er in voorgaande commissie besprekingen ideeën over uitgewisseld. De commissie kan hierover op 19 juli in gezamenlijkheid afspraken maken. Over de financiering van de AT-taken zijn eveneens nog afspraken nodig.

Rol AT bij monitoring

Het convenant bepaalt dat de commissie een monitoringprogramma opstelt. Het toezicht op de monitoring is niet apart beschreven in het convenant. De commissie kan ook hierover op 19 juli in gezamenlijkheid afspraken maken. Over de financiering van de AT-taken zijn eveneens nog afspraken nodig.

Vervolg: stappenplan voor toezicht AT op ontwikkeling meetinstrument

Zodra er overeenstemming is over de rol van AT kan er een plan van aanpak volgen waarin staat hoe de onafhankelijke rol van AT wordt gewaarborgd en hoe AT kan controleren dat het meetinstrument (LOFAR of anders) voldoet aan de meetmethode. AT stelt het plan op met input van ASTRON. Dat plan kan bestaan uit de volgende stappen:

1. Advies en review op de theoretische ontwikkeling en voorbereiding van meten met LOFAR.
2. Advies en review tijdens het programmeren, configureren en eventueel bouwen.
3. Controle door meekijken en meedoen met de metingen, en evt. flankerende testmetingen aan de windturbine(s).

Voor de uitvoering van dit deel heeft AT financiering van EZK.

Programma voor doorlopende monitoring

In de commissie moet nog gesproken worden over het opstellen van en de invulling van het programma voor doorlopende monitoring.

Convenant Artikel 8

Onder leiding van AT zullen Partijen medewerking verlenen aan de ontwikkeling van een meetmethode voor de bepaling van de daadwerkelijke EM stoorstraling veroorzaakt door het Windpark. De meetmethode dient vastgesteld te worden binnen een periode van 9 maanden na ondertekening van dit convenant. De aldus ontwikkelde en door AT vastgestelde meetmethode zal de enige te hanteren meetmethode zijn 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.

Productie





Radiocommunications Agency
Ministry of Economic Affairs

> Return address P.O. Box 450 9700 AL Groningen, The Netherlands

Nordex Energy GmbH



Emmasingel 1
9726 AH Groningen
P.O. Box 450
9700 AL Groningen
The Netherlands
T +31 50 587 74 44
F +31 50 587 74 00
www.agentschaptelecom.nl
info@agentschaptelecom.nl

Contact

T +

Our reference
AT-EZ/Windconvenant

Enclosures
2

Date 4 October 2017
Subject Invitation to the presentation of the
Method for measuring EMI radiation of wind turbines i.r.t. LOFAR

Dear

I am pleased to invite you to the presentation of the Method for measuring the EMI radiation of wind turbines in relation to the LOFAR radio telescope. The meeting will be held in Groningen, The Netherlands, November 16th, 2017. In the morning there will be a general presentation and in the afternoon we reserved time for those individual windturbine manufacturers who are interested to talk separately to members of the project team without any competitors present.

Covenant Committee

The meeting is organized by the Covenant Committee aiming for EM interference reduction from wind turbines in relation to the LOFAR radio telescope, as described in the covenant between ASTRON and the initiators of the windfarm "Drentse Monden and Oostermoer". The presentation will be performed by members of the projectteam of the Dutch Radiocommunications Agency who designed the method. The measuring method has been established and ratified by the Radiocommunications Agency and is accepted by the Covenant Committee. The report containing the description of the method is attached.

The committee has invited the following windturbine manufacturers:



Day schedule 16 November 2017

Morning session: 09.00 – 12.30 hr

Afternoon sessions: 13.30 – 17.00 hr (half an hour per manufacturer)

Location: Radiocommunications Agency, Emmasingel 1, 9726AH, Groningen

Please register

We kindly ask to restrict your delegation to a number of two persons, at maximum three. Please send an e-mail to

with the name and function of the

persons who will attend the presentation.

Also state whether or not you will take the opportunity to ask questions individually in the afternoon sessions. In reply you will receive a confirmation and the timeslot you are scheduled for in the afternoon.

Important notice upfront

We like to emphasise that the measurement *method* will be presented and not a concrete implementation of the method. The implications for actually measuring with a suitable measurement instrument will depend on various implementation decisions, such as the choice of a designated antenna configuration. The comparison of implementation options is in progress by the Covenant Committee.

Date

4 October 2017

Our reference

AT-EZ/Windcovenant

Please send in your questions

Finally we invite you -after having read the report- to send in any questions about the measuring method up front, preferably 2 weeks in advance. This will help us to fine tune our presentation. Your questions will be anonymised. Please send your questions to !

We look forward to your reply.

Kind regards,

Covenant Committee *co-existence*
windpark de Drentse monden & Oostermoer and LOFAR

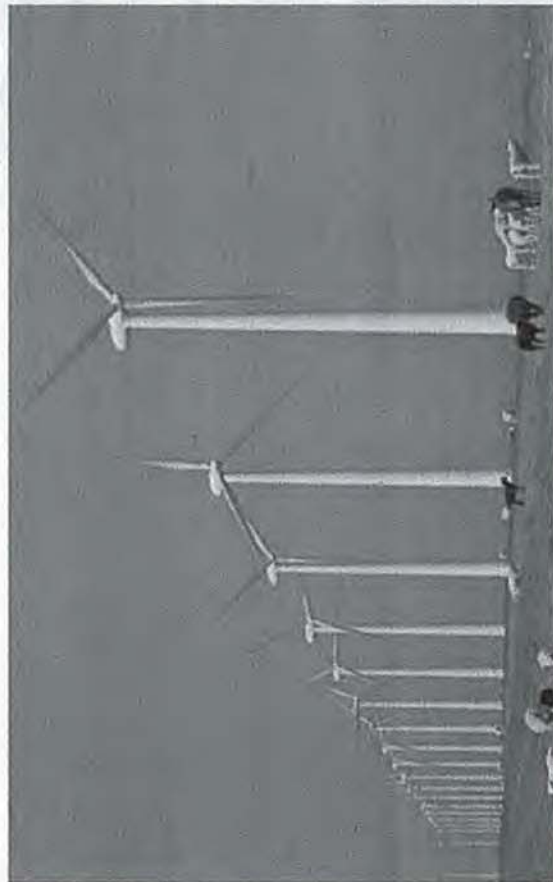
Annex:

- Covenant co-existence windpark de Drentse monden & Oostermoer and LOFAR (in Dutch)
- Method for measuring the EMI radiation of wind turbines in relation to the LOFAR radio telescope

Productie **39**



Agentschap Telecom
Ministerie van Economische Zaken



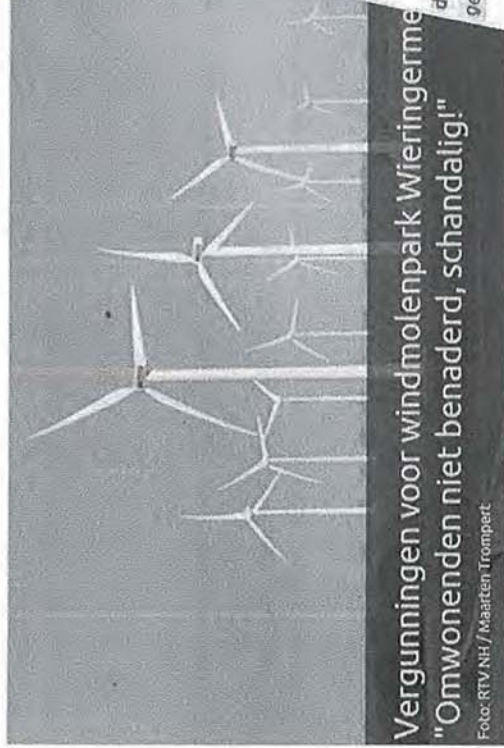
Effecten van windturbines
op radioverbindingen.

*De rol van Agentschap
Telecom*

MIVO 16 juni 2015

16 juni 2015

Windturbines



Vergunningen voor windmolenpark Wieringermeerpolder
"Omwonenden niet benaderd, schandalig!"

Foto: RTV NH / Maarten Trompert

donderdag 07 mei 2015 | 20:20

WIERINGERMEER Windpark Wieringermeer heeft vandaag vergunningen verkregen voor de bouw van 99 windmolens in de Wieringermeerpolder. Omwonenden zijn woest en gaan bezwaar aantekenen bij de Raad van State.

Provincie in verzet tegen windmolenpark Drentse Monden

Geplaatst: 17:44 uur, maandag 25 juli 2011



DRENTSE MONDEN - De provincie Groningen verzet zich tegen de komst van een windpark op de grens met Drenthe.

Het ministerie van Economie Landbouw en Innovatie heeft plannen voor grote windparken in Drenthe, ter hoogte van Nieuw-Mussekanaal. Volgens het ministerie van

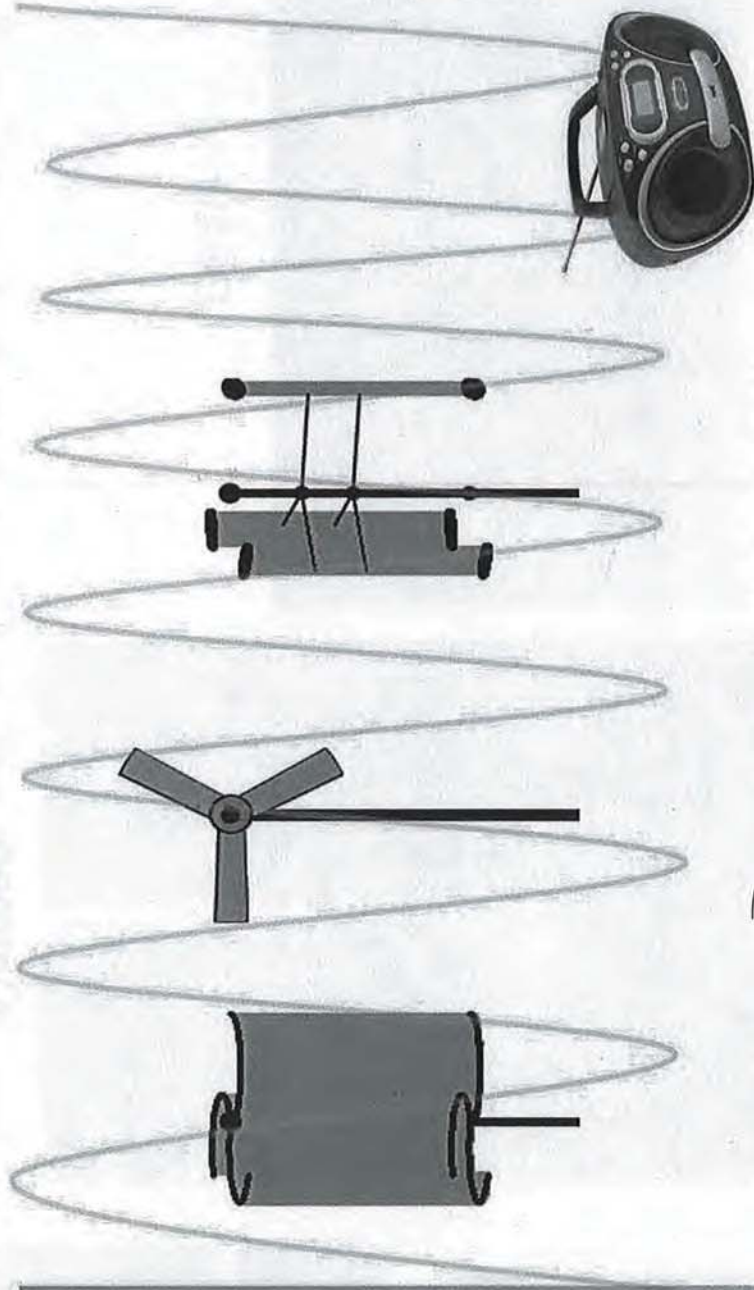
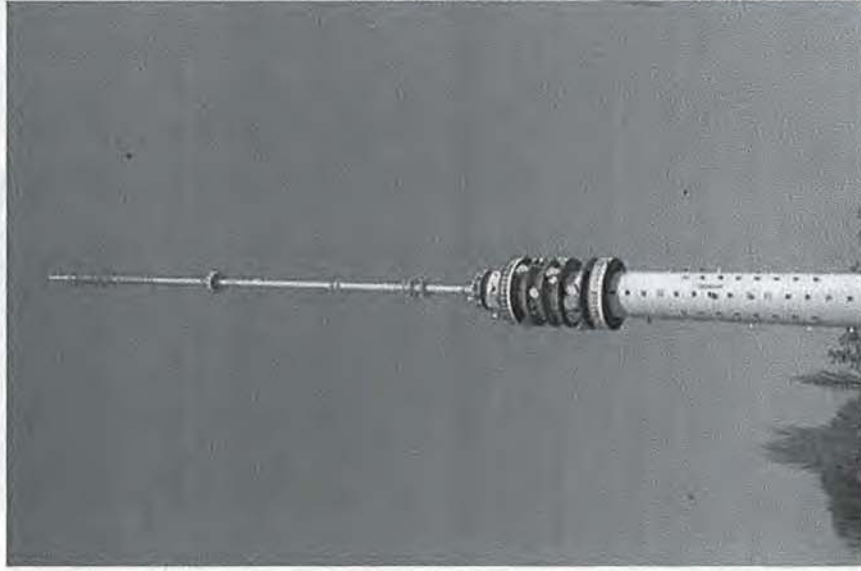
dat provincies zelf bepalen waar windmolenparken komen. De provincie gaat met beide handen voor de leus voor

het

di 19 mei 2015, 06:57 | lees voor

Windturbines verstoren Lofar-telescoop
 Windturbines in het Drentse Mondengebied verstoren de werking van de radiotelescoop Lofar. EXLOO - Windmolens in het Drentse Mondengebied verstoren de werking van de radiotelescoop Lofar. Dat zegt directeur Marco de Vos van het Nederlands Instituut voor Radiosterrenkunde. Astron tegenover het Dagblad van het Noorden. Tests in het Eemhaventgebied hebben dat volgens hem aangetoond. Volgens de 2e Exloërmond ligt het hart van Economische Zaken komen er echter vijftig plannen van minister Kamp van Economische Zaken staan ingetekend binnen een kritieke grens rond het centrum van Lofar.

Belemmeringen in radioverbindingen door windturbines



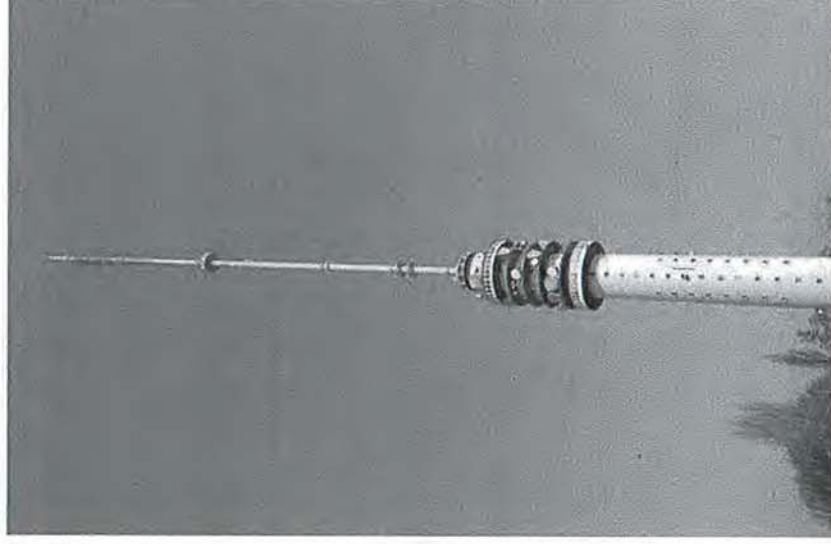
Reflectie
Absorptie
Refractie

Frequentie radiogolf
Hoek van inval
Dimensies obstakel
Materiaal obstakel

Radiotoepassingen die gevoelig zijn voor de effecten van windturbines



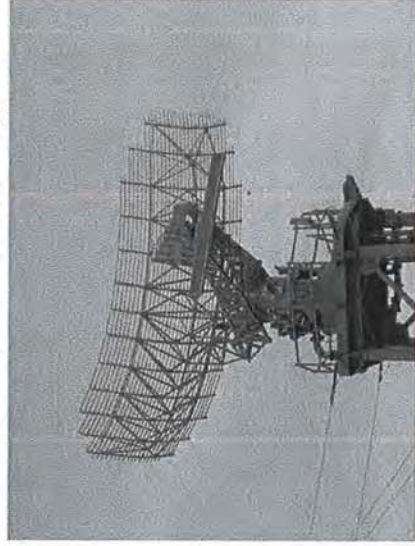
Straalverbinding



Omroep

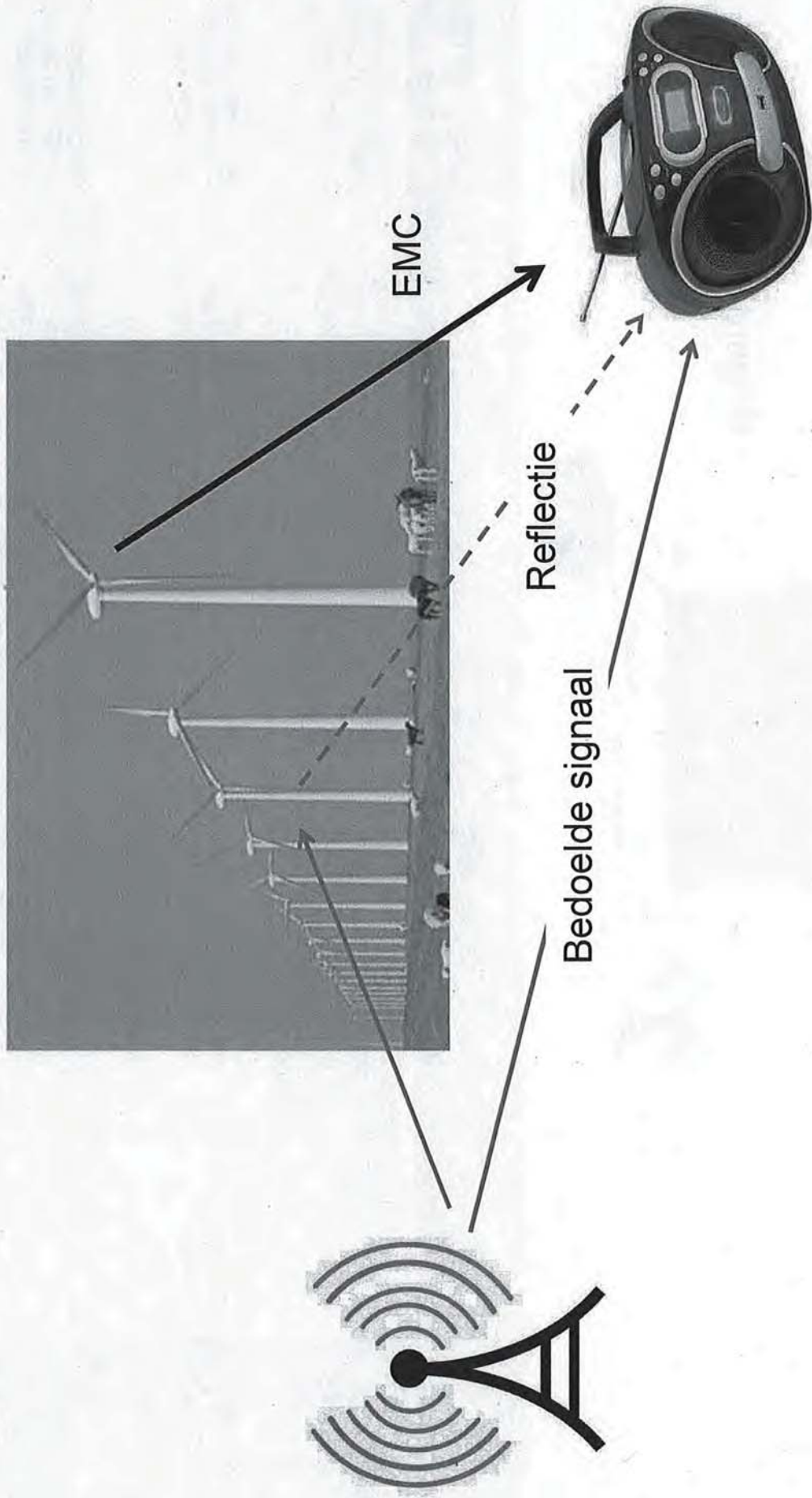


LOFAR

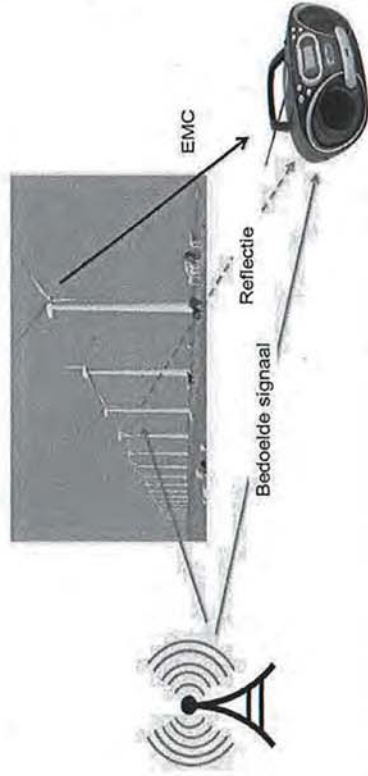


Radar

Hinder door windturbines



Wie gaan er over? Plaatsing + ingebruikneming zender/windmolen



Volgorde kan rol spelen!

radiodienst	S-N	S-M	S-V	S-I	S-Ma	Toezicht (van AT)	Gemeente /Rijk
Omroep		Vergunning: Verlenen, Verlengen, wijzigen, weigeren			EMC/RED eisen zender en windmolen	Regeling storings- meldingen	Omg.vergunning +MER van zender en windmolen
Straal- verbindin- gen	Vergunning: Verlenen, Verlengen, wijzigen, weigeren				EMC/RED eisen zender en windmolen	Regeling storings- meldingen	Omg.vergunning +MER van zender en windmolen
Radars			Vergunning: Verlenen, Verlengen, wijzigen, weigeren		EMC/RED eisen zender en windmolen	Regeling storings- meldingen	Omg.vergunning +MER van zender en windmolen
Gevoelige ontvangst- stations				Aanspreek- punt weten- schappelijk gebruik	EMC/RED eisen zender en windmolen	Regeling storings- meldingen	Omg.vergunning +MER van zender en windmolen

Relevante kennis

- Juridische kennis
Interpretatie van wettelijke grondslag voor verlenen, verlengen, wijzigen en óf weigeren van vergunningaanvragen
- Electromagnetic engineering
Hoe gedragen radiogolven zich bij obstakels (berekening/meting)
→ *Simulatiesoftware, meetkennis*
- Radio engineering
Wanneer kunnen we een verstoring als een onacceptabele verstoring beschouwen? → *ITU-WP6A, ECC-SE-WTFG*
- Spectrum engineering & planning
Planning van straalverbindingen bij vergunningverlening

Hoe deze kennis als AT in te zetten:

Discussie

- Bij ons eigen (zend)vergunningen proces
Beantwoorden van de vraag: In hoeverre moeten we bij de vergunningverlening rekening houden met geplande windmolenparken?
- Als adviseur naar gemeentes/Rijk
Op verzoek van gemeentes/rijk bij beoordeling radioaspecten MER
- Als verstrekker van informatie over zenders
Informatievoorziening over radioaspecten die nodig zijn voor opstellen van MER's zoals info over vergunde straalverbindingspaden, omroepzenders, radars etc)
- Als verstrekker van overige informatie
Faciliteren in het geven van informatie aan aanvragers van zendvergunningen over bijvoorbeeld mogelijke bouwplannen van windmolens



actie

Productie **41**



Meetmethode EM windturbines

Plan van Aanpak

Aan
Spectrummanagement
Van

Akkoord:	Ja / Nee
Paraaf:	
Datum:	

Versie: 0.9
Projectnr:
Datum: 7 maart 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		
0.2	28/02/2017	Planning gespecificeerd	
0.3	07/03/2017	Planning aangepast	
0.9	07/03/2017	Planning en risico's aangepast	

Distributiegeschiedenis

Versie	Datum	Aan
0.2	28/02/2017	Technisch overleg
0.9	07/03/2017	Technisch overleg
0.9	07/03/2017	

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 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 .

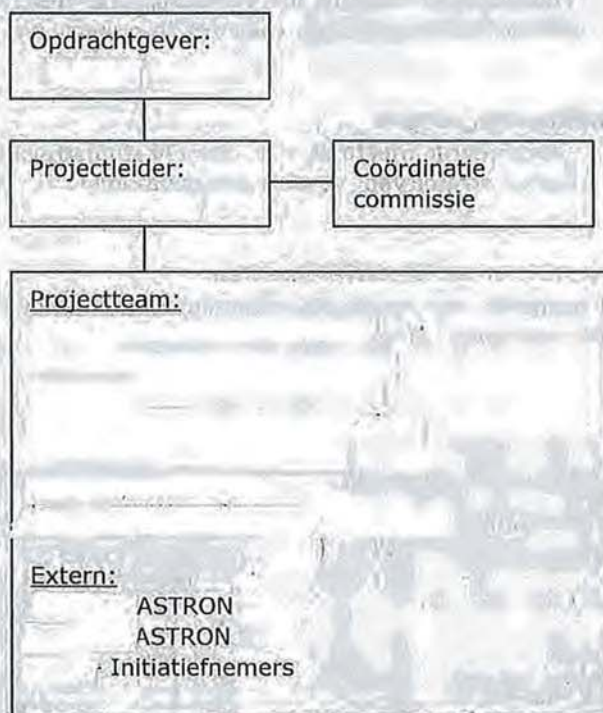
1.6 Acceptatiecriteria

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

2 Projectrisico's

Risiko en Issue log project <projectnaam>											
Nummer	Soort	Datum Ingedien d	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	Inkoop	20-04-17	Onderhanden
2	R	1-02-17	vaagheden in "Norm"	lange moeizame discussies	M	H	H	Concretiseren norm	projectleider	10-03-17	
3	R	1-02-17	problemen metingen lage nivo's	vertraging door veel experimenteren	M	M	M		projectleider		
4	R	1-02-17	praktische problemen uitvoering meting, door lastige omstandigheden (grote hoogte blijv.)	vertraging door afhankelijkheid weersomstandigheden en extra materieel	M	M	M		projectleider		
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	projectleider	10-03-17	
3	R	7-03-17	Risico: na 19 Juni implementatie van de definitieve meetmethode blijkt niet haalbaar doordat de benodigde omvang van de Mini-array veel groter is dan de verwachte 10 antenne/ontvanger combinatie	geen mobiele variant mogelijk van meetmethode	L	M	L	Meer gevoelige LogPer antennes toevoegen aan de Mini-Array	projectleider		
7	R										
8											
9											
10											
11											

3 Projectorganisatie



4 Projectplanning en -begroting

4.1 Planning aannames

- Medewerkers Toezicht zijn voldoende uren beschikbaar.
- Astron levert kostenlos manuren in project, niet opgenomen in offerte.

4.2 Productbeschrijvingen

- Gevalideerde meetmethode voor EM stoorstraling door windturbines
- Demonstrator voor validatie meetmethode

4.3 Planning, uren en materiele kosten

In het volgende overzicht is de tijdsplanning weergegeven. Zie embedded .xlsx object voor volledige weergave van planning, uren en kosten.

Product/tijdsplanning					februari		maart		april		mei		juni									
Activiteiten (mini-Array methodiek)	startdatum	einddatum	Uitvoering door																			
			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Bepalen aantal antennes mini-Array	8-02-17	1-03-17																				
Antennes LogPier (C-Airka)	1-02-17	17-03-17																				
Specificeren in de norm: meettijd in relatie tot storings karakter	8-02-17	1-03-17																				
Definieren en specificeren goetste stoorbron (5-250MHz)dB	8-02-17	31-03-17																				
Technische realisatie goetste stoorbron (Dome + kostenopgave)	8-02-17	31-03-17																				
Twee antenne aanpak: Halve zin (aanpak) en data verzet/stop	8-02-17	17-03-17																				
Site survey	15-02-17	15-03-17																				
Software modules kiezen en op maat maken (ind. blokschema's)	1-03-17	21-04-17																				
Spreadsheets relatie gevoeligheid LOFAR-antennes en benodigde aantallen ontvangtpunten	10-04-17	21-04-17																				
Revisie software codering	27-03-17	1-05-17																				
Test locatie uitkiezen (terreer: nabij LOFAR C5302)	1-03-17	15-03-17																				
Pre tests aan windturbines Lagerwey	6-03-17	17-03-17																				
Twee antenne aanpak: samenstellen meetprotocol	30-03-17	31-03-17																				
Twee antenne aanpak: meten aan een draaiende windturbine	10-04-17	28-04-17																				
Bepalen meetonzekerheid mini-Array	17-04-17	5-05-17																				
Bepalen meetonzekerheid Twee antenne aanpak	17-04-17	1-05-17																				
Uitvoeren op LOFAR met mini-Array selectie uit C5302 (met Drone)	1-05-17	12-05-17																				
Uitvoeren op LOFAR met Twee antenne aanpak (LOFAR) (met Drone)	1-05-17	12-05-17																				
Schrijven meetprotocol (ind. beschrijving implementatie os antenne)	27-03-17	26-05-17																				
Revisie meetprotocol	22-05-17	19-05-17																				
Schrijven wetenschappelijke publicatie	5-06-17	19-06-17																				
Opbrengen gevalideerde meetmethode		19-06-17																				
Afstemming met commissie		doorlopend																				

Stappen na 19 (ind. implementatie mobiele standalone Mini-Array)	Manuren	Materiaalkosten	Uitvoerende
--	---------	-----------------	-------------

Interne medewerkers					December/januari		februari		maart		april		mei		juni								
Wiss	Uur		startdatum	einddatum	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
			1-12-16	31-5-2017	92	16	8	8	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
			1-12-16	31-5-2017	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
			1-12-16	31-5-2017	8	8																	
			1-12-16	31-5-2017	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
			1-12-16	31-5-2017	64	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
			1-12-16	31-5-2017	64	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
			1-12-16	31-5-2017	64	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
			1-01-17	31-5-2017	12	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Productie 



Site-survey rond Stadskanaal

Onderzoek beïnvloeding windturbines op ontvangst LOFAR-
netwerk Drente

Colofon

Aan
Van
Nummer
Datum
Leden

Concept

Copyright

Agentschap Telecom ©2016

Inhoud

1 Het onderzoek—4

Spotmetingen—4

TDAB—4

Rijdende meting—5

Resultaten meetlocatie 1—6

Resultaten meetlocatie 2—7

Resultaten meetlocatie 3—8

Inleiding

De komst van vijftig windmolens in de Drentse Veenkoloniën dreigt een miljoenenschade te veroorzaken voor LOFAR, de megatelescoop van Astron.

Het centrale antenneveld van LOFAR in Exloo zal door het windpark worden verstoord. Dat betekent dat 53 kleinere stations, verspreid in Europa, nauwelijks nog bruikbaar zullen zijn. Dat zegt directeur Marco de Vos van Astron, het sterrenkundig instituut in Dwingeloo. „Exloo ligt als een gevoelige kern midden in het web en trekt als een sleepboot al die buitenstations omhoog.” *Bron: Dagblad van het Noorden*

Op 6 juni 2016 heeft de afdeling Toezicht van het agentschap een onderzoek uitgevoerd naar de signalen afkomstig van en uit Stadskanaal die in de LOFAR-frequentieband vallen, en eventueel via de nog te plaatsen windturbines het LOFAR-antenneveld nabij Exloo (Drente) kunnen beïnvloeden.

Er is op drie locaties verspreid tussen de plaats Stadskanaal en het antenneveld van LOFAR gemeten, waarbij gemeten is in de richting van Stadskanaal en in de richting van het LOFAR-antenneveld.

Daarnaast is er in Stadskanaal zelf rijdend een registrerende meting uitgevoerd.

Spotmetingen

Op drie locaties tussen Stadskanaal en het LOFAR-antenneveld zijn de signalen gemeten in het frequentiegebied van 20 MHz tot 90 MHz (VHF 1) en 110 MHz tot 250 MHz (VHF 2).

- Locatie 1 : N52° 57' 09.204" / E006° 57' 23.517";
- Locatie 2 : N52° 55' 14.382" / E006° 56' 33.220";
- Locatie 3 : N52° 58' 42.217" / E006° 56' 29.813".



Figuur 1 Overzicht meetlocaties

De metingen zijn uitgevoerd met een spectrum analyzer (Fieldfox N9912A van Agilent) waarop een richtantenne (HE200 van Rohde & Schwarz) was aangesloten.

De richtantenne stond op een hoogte van 1,50 meter opgesteld.

De 'generieke' antennefactor van de HE200 was in de spectrum analyzer als transducerfactor ingevoerd en geactiveerd.

De resolutie bandbreedte (RBW) van de spectrum analyzer stond ingesteld op 100 kHz. Per meting zijn twee traces geregistreerd, trace 1 op 'clear-write' (geel) en trace 2 op 'max-hold' (blauw).

Per meting is zowel een PNG- als een CSV-bestand gemaakt.

Per locatie is gemeten naar Stadskanaal (V) en naar het LOFAR-antenneveld (A) toe. Met de antenne is zowel de verticale (V) al de horizontale (H) polarisatie gemeten.

Bijvoorbeeld: LOC1 V VHF1 V LOC1 is locatie 1, V of A bij V is antenne naar Stadskanaal toe gericht en A is naar LOFAR-antennemeetveld gericht, VHF1 is 20 – 90 MHz en VHF2 is 110 – 250 MHz, V is verticale polarisatie en H is horizontale polarisatie.

TDAB

Op 2 juni jl. is DAB+ NPO 12C in Stadskanaal on-air gegaan, bron: www.radio-tv-nederland.nl. Dit was tijdens het vorige onderzoek op 230516 in Stadskanaal nog niet het geval.

Rijdende meting

Met het dienstvoertuig (Volkswagen Golf) is door Stadskanaal gereden waarbij met behulp van de CRFS-node de frequenties geregistreerd werden met plaats/tijd informatie.

Omdat het wenselijk was om ook 'lage' signaalniveau te registreren is er op het dak van de Volkswagen Golf een actieve antenne geplaatst, namelijk de Rohde & Schwarz HE309 antenne. Deze antenne werd vanuit een externe accu gevoed om eventuele interferentie van de DC/AC/DC-omvormer te voorkomen.

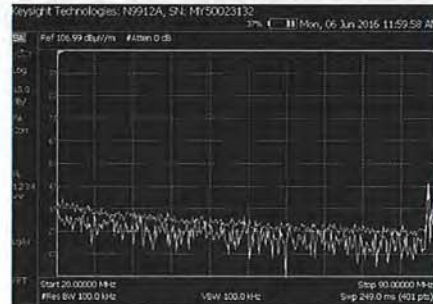
Nadeel van een actieve antenne is dat er kans op oversturing (vervorming) is (TDAB?). Om oversturing van de CRFS-node zoveel mogelijk te voorkomen is hier een externe 6 dB verzwakker voor geplaatst.

De registraties van de rijdende meting moeten nog verwerkt worden.

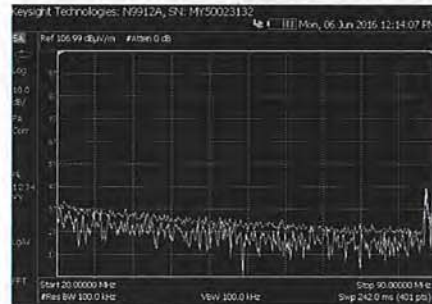


Figuur 2 Opstelling HE309 op Volkswagen Golf

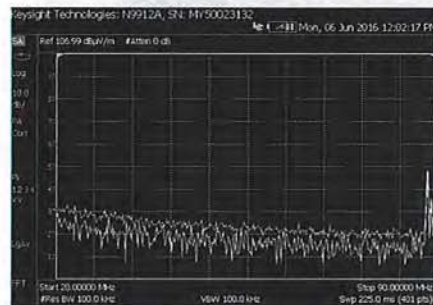
Resultaten meetlocatie 1



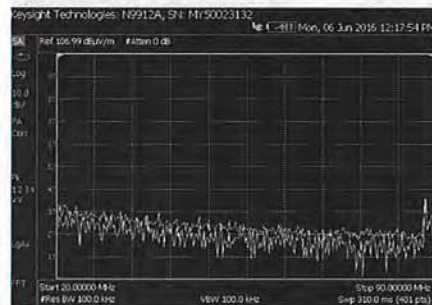
Figuur 4 LOC1-V-VHF1-V



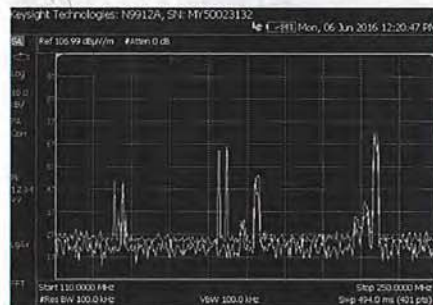
Figuur 3 LOC1-V-VHF1-H



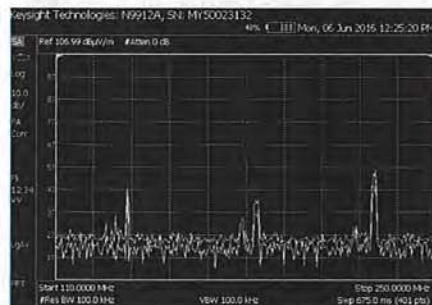
Figuur 6 LOC1-A-VHF1-V



Figuur 5 LOC1-A-VHF1-H



Figuur 8 LOC1-V-VHF2-V



Figuur 7 LOC1-V-VHF2-H



Figuur 10 LOC1-A-VHF2-V



Figuur 9 LOC1-A-VHF2-H

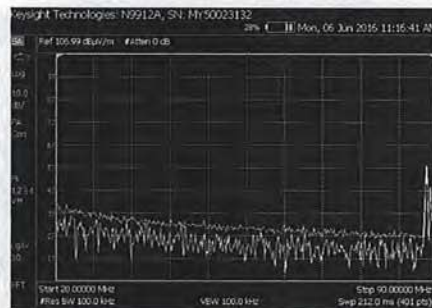
Resultaten meetlocatie 2



Figuur 12 LOC2-V-VHF1-V



Figuur 11 LOC2-V-VHF1-H



Figuur 14 LOC2-A-VHF1-V



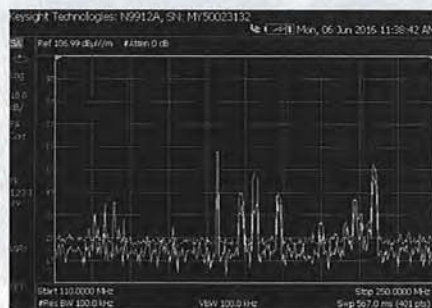
Figuur 13 LOC2-A-VHF1-H



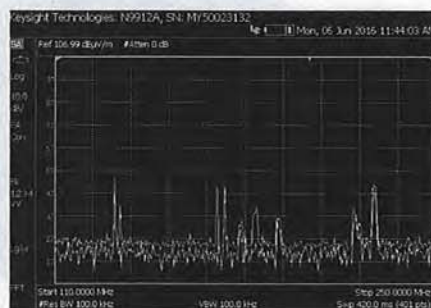
Figuur 16 LOC2-V-VHF2-V



Figuur 15 LOC2-V-VHF2-H

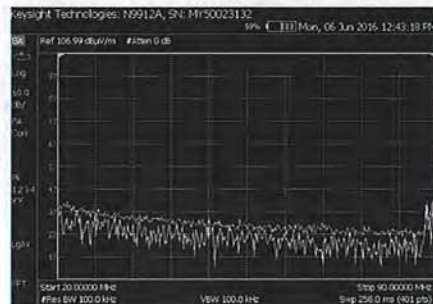


Figuur 18 LOC2-A-VHF2-V

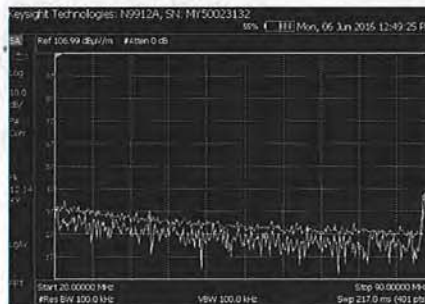


Figuur 17 LOC2-A-VHF2-H

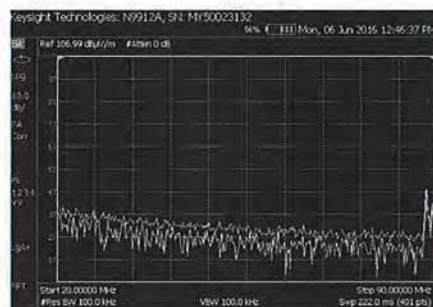
Resultaten meetlocatie 3



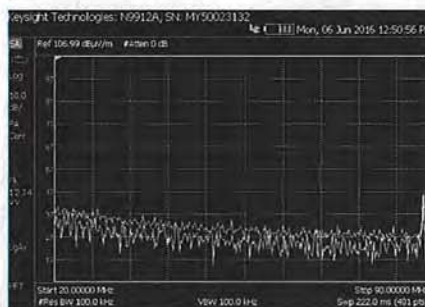
Figuur 20 LOC3-V-VHF1-V



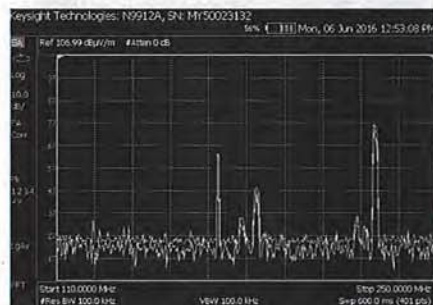
Figuur 19 LOC3-V-VHF1-H



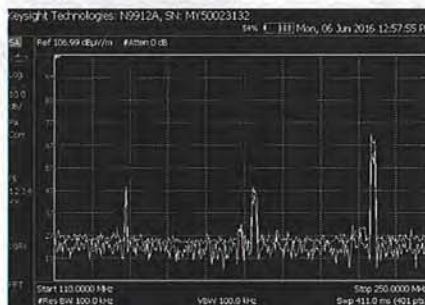
Figuur 22 LOC3-A-VHF1-V



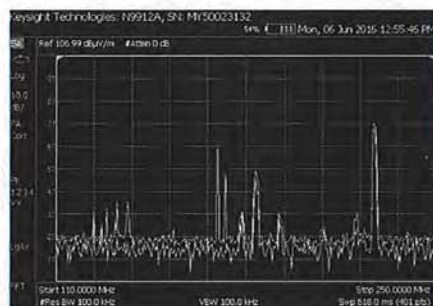
Figuur 21 LOC3-A-VHF1-H



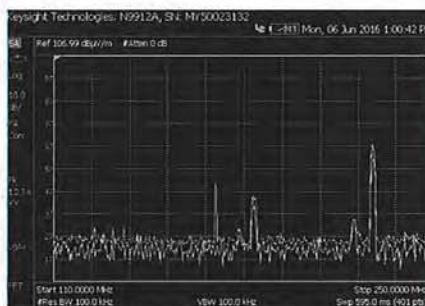
Figuur 24 LOC3-V-VHF2-V



Figuur 23 LOC3-V-VHF2-H



Figuur 26 LOC3-A-VHF2-V



Figuur 25 LOC3-A-VHF2-H

Productie **43**



Radiocommunications Agency
Ministry of Economic Affairs

Necessary reductions and Measuring method

Reduction and measuring method
EM interference radiation for
convenant ASTRON-DMOM



Necessary reductions



Conclusion from Study:

Wind turbines in the vicinity of LOFAR will result in changes to the electromagnetic environment locally. If these changes become too great, this will manifest itself as interference to the LOFAR reception system, resulting in a degradation of the reception potential.

The most important interference mechanisms have been identified as:

- the EMC emissions of the wind turbines and
- the reflections of other interference sources via the wind turbines.

The Pulsar and 'Epoch of Reionization' studies demand a sensitivity of the LOFAR system of $-164 \text{ dB}\mu\text{V}/(\text{m.Hz})$.

The level of electromagnetic disturbance caused by the wind farm is exceeding this level at the LOFAR site by 57 dB (and, for pulsar measurements, by 67 dB).

Necessary reductions



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

("Norm") or reference

The (equivalent of the) limit value in EMC norm EN55011 for class A group 1, being 50 dBμV/m in a bandwidth of 120 kHz (which is – 0,8 dBμV/(m · Hz)) at 10 m distance from a wind turbine's nacelle at a height of 100m

Measuring method (1)



Result due June 2017

Measuring Method:

- ✓ description of the measuring method, including unambiguous measuring instructions
- ✓ a proof-of-concept of the measuring set-up (hardware + software), demonstrating the method

Scope

For the development and testing of the measuring method, there will be measurements at real wind turbines. But the goal will not become to assess radiation values for certain types of wind turbines.

Measuring method (2)



Actions so far

- collecting measurement equipment, incl. antenna's
- developing possible approaches and tests: a standard EMC test, or straight measurements at not to close distance are not usable
- research reference EM-source, probably using a drone platform

Measuring method candidates

- using 2 high gain LogPer antenna's, off-the-shelf test equipment AND analog or digital processing (if necessary combined with probes within the wind turbine)
- a dedicated receiver set-up (so called mini-Array of at least 10 receiving units) AND processing, calibrated with LOFAR itself

Further actions

- pre-tests within and around existing wind turbines, to understand possible sources and characteristics of EM radiation
- specifying methods and analysing measurement uncertainties
- testing

Measuring method (3)



Input manufacturers

- pinpointing probable radiation sources can speed up measurements
- all kind of available measurement data
- access to (test) wind turbines and operational help for checking ideas, testing
- ??
- ?



Background (see Study report)



Input/assumptions for interfering field strength calculations

→ Reference "Norm"

- interfering field strength calculated at the edge of the so-called LOFAR superterp
- all 50 wind turbines on the planned locations, so distances between about 5 and 15 km
- *assuming each wind turbine just complies with EMC norm EN55011 (correction applied, for this being worst case, by subtracting 10 dB afterwards)*
- the wind turbine's nacelle at a height of 100m assumed as location of the interference 'source'
- propagation model for calculation: ("free-space" -10 dB)
- frequency range 30-240 MHz (actually two sub bands: 30-80 and 110-240 MHz)



From Study report

For strongest mechanism

calculated EM interference at LOFAR:

-42 dB μ V/(m.Hz)

Correction propagation model:

-10 dB

Correction, worst-case EMC-norm:

-10 dB

Correction low angle of incidence at LOFAR:

-35 dB

Suppression by longer observation:

-10 (except for Pulsars)

Final generated disturbance effect:

-107 dB μ V/(m.Hz)

Critical noise floor LOFAR:

-164 dB μ V/(m.Hz)

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

Productie





Samenvatting van PagerPower rapport "LOFAR Technical Impact Assessment"

Colofon

Aan
Van
Nummer
Datum
Leden

3 maart 2016

Copyright

Agentschap Telecom ©2016

Doel

Het rapport presenteert de initiële bevindingen van het consultantiebureau Pager Power met betrekking tot de mogelijke impact van het Drentse Monden windpark op LOFAR. De stappen in deze studie waren:

- Het modelleren van de impact van de windturbines op de RF omgeving

Volgens Pager Power zijn de mechanismen hiervoor wel bekend omdat die ook gebruikt worden voor het modeleren van de interactie van grote windparken met andere infrastructuur zoals radar en radio omroep systemen.

- Het in kaart brengen van de implicaties op het functioneren van LOFAR, voor zover mogelijk

Volgens Pager Power is het moeilijk om deze implicaties definitief vast te stellen want LOFAR detecteert en analyseert signalen op een manier die tot nu toe niet mogelijk is geweest. Er zijn veel stappen tussen het verkrijgen van de ruwe data van de antenne, waar de impact van de turbines optreedt, en de productie van beelden en andere resultaten. De grootte van de impact kan niet exact worden gekwantificeerd. Toch vindt Pager Power dat conclusies getrokken kunnen worden van deze studie, ondanks de onzekerheden.

- Het identificeren van mogelijke mitigatie oplossingen indien nodig.

Het rapport is bedoeld als leidraad in de verdere discussies met ASTRON.

Methodiek

De methodiek die gebruikt wordt in dit rapport is hoofdzakelijk gebaseerd op de volgende documenten:

- ITU recommendaties over het beoordelen van de impact op radiosystemen
- EN 61000-6-4 (2001) over emissies
- 'Best practices' gebaseerd op de ervaring van Pager Power met wind ontwikkelingen
- Input van belanghebbenden zoals de Joint Radio Company (JRC) in het Verenigd Koninkrijk.

Technische impact

Line of Sight

- De Drente Moden windturbines zullen de minimum horizon van de LOFAR antenne veranderen; zie figuur 6 voor een beeld hiervan. Het is uitgerekend in hoofdstuk 5.3 (tabel 2) dat de elevatiehoek tussen de top van de LOFAR antenne en de top van de turbinewiek tussen de 1 en 5 graden is voor de meeste windturbines, met een maximumwaarde van ongeveer 14 graden. Op dit moment is de horizon (deze elevatiehoek) dichtbij de 0 graden in de richting van de locaties waar de turbines zouden komen te staan.

Het is Pager Power onbekend of dit problematisch is voor ASTRON, daarom stelt Pager Power voor in hoofdstuk 5.6 om dit verder te bespreken met ASTRON. In de correspondentie tussen Pager Power en ASTRON lijkt het alsof het acceptabel is om een elevatiehoek van 22 graden te hebben, maar dit moet bevestigd worden door ASTRON (zie hoofdstuk 5.6 en de Executive Summary).

- Een rekenvoorbeeld gebaseerd op Recommandatie ITU-R P.526 om het verlies van de veldsterkte afkomstig van een radiobron op 120 MHz door de obstructie van een turbine en gemeten door de LOFAR antenne is gepresenteerd in hoofdstuk 5.8 en Appendix B. Dit geeft een gemiddelde waarde van 3.5 dB verlies. **Dit resulteert in een kleine vermindering van de signalen direct achter de turbines.**

Reflectie van bestaande ruisbronnen

- Voorbeelden van reflectieberekeningen van de potentiële toename van bestaande ruisbronnen geven een Carrier-to-Interference Ratio (CIR) van 22.6 dB (zie hoofdstukken 6.2 t/m 6.5). Hier is het 'Carrier' signaal de bestaande ruisbron en het 'Interference' signaal de reflectie van deze ruis van de turbines. De toename in bestaande ruisbronnen wordt ingeschat op 0.6%.

Pager Power is van mening dat het onwaarschijnlijk is dat reflecties van bestaande ruisbronnen problematisch zullen zijn.

Radioemissies van Windturbines

- **Analyse van een EMC rapport van een fabrikant(#1) van turbines geeft aanleiding tot het vermoeden dat de emissies van de turbines wel effect op de RF omgeving in het gebied zullen hebben (hoofdstuk 7.6).** Berekeningen van geëxtrapoleerde veldsterktes zijn gedaan op basis van resultaten van een EMC rapport voor een bepaald windturbine type (hoofdstukken 7.2 t/m 7.5). Deze berekeningen geven waarden tot 25 dB μ V/m voor de antenne die het dichtstbij de turbines staat. Achtergrondruisniveaus in het EMC testrapport geven waarden aan van 10 tot 40 dB μ V/m voor het meeste van het spectrum van 30 MHz tot 1 GHz met spikes tot 75 dB μ V/m bij specifieke frequenties (hoofdstuk 7.8).
- **Analyse van het EMC rapport van een andere fabrikant(#2) van windturbines geeft aan dat turbines mogelijk geen merkbare verandering in de radio omgeving veroorzaken (hoofdstukken 7.8 t/m 7.10).** Deze testen waren gedaan zonder een nulmeting met alle turbinecomponenten 'de-energized'. Verdere testen kunnen noodzakelijk zijn.

De windturbine van fabrikant#2 heeft mogelijk de voorkeur over die van fabrikant#1 vanwege de lage emissies.

Potentiële mitigatie opties

- **Er zijn een aantal potentiële mitigatie opties (hoofdstuk 8) die toegepast kunnen worden als de potentiële impact van turbine emissies is geïdentificeerd. Deze kunnen verder bediscussieerd worden met ASTRON.** Deze zijn:
 - filteren van ongewenste ruis op dezelfde manier zoals nu al gedaan wordt voor ruis (hoofdstuk 8.2);
 - definiëren van exclusie zones gebaseerd op gekwantificeerde parameters (hoofdstuk 8.3)
 - modificeren van het ontwerp van de turbine – extra shielding van de converter om elektrische emissies te reduceren (hoofdstuk 8.4)
 - meer LOFAR antennes installeren (hoofdstuk 8.5)
 - verbeteren van de LOFAR processing algoritmes (hoofdstuk 8.6)

- bouwen van RF shielding rondom de antennes die het dichtstbij het windpark staan om emissies van turbines bij lage elevatiehoeken te blokkeren(hoofdstuk 8.7).

Recommandaties

De bevindingen van dit rapport worden bediscussieerd met ASTRON. Veel van de berekeningen in dit rapport zijn voor een klein aantal antennes en turbines gedaan. De berekeningen zijn gedaan met turbines die het dichtstbij LOFAR antennes staan voor de line-of-sight en reflectie analyse om een worst-case scenario te geven en om potentiële problemen aan te geven. Als er nog punten van zorg zijn, is het aanbevolen om een methodologie voor verdere evaluatie af te spreken en te gebruiken. Dit kan gebaseerd zijn op de methodologie van berekenen uit dit rapport en kan ook andere overwegingen bevatten.

2015 Windpark indeling

Dit rapport gebruikt de 2015 windturbine indeling. De impact van deze indeling is lager dan de vorige omdat de turbines verder van de LOFAR antennes staan en omdat het aantal turbines lager is.

De uitkomsten met betrekking tot algemene niveaus van impact en mitigatie opties blijft van toepassing.

Productie **45**



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

T

Nummer

Bijlagen

Schedule

Onderwerp / Overlegorgaan	Preliminary Design Review of the Measurement method for measuring the EM radiation of windturbines in relation to the LOFAR radiotelescope
Vergaderdatum en -tijd	May 11th
Vergaderplaats	Amersfoort
Vergaderzaal	B.001

Welcome by

Morning program: presentation method and questioning (10.00 – 12.30 hrs)

- General overview on the measurement method –
- Sensitivity analysis and data collection considerations –
- Digital signal processing –
- Considerations about the Two Antenna approach and mini Array
- Questions and discussion

Lunch

Afternoon program: reviewers opinion (13.00 – 16.00 hrs)

- What's the reviewers general comment on the Measurement method as presented?
Which part(s) stand out or are particular important?
Are there any adjustments you would advise or insights to consider?
Do you endorse the method as presented?
- Do the reviewers share the conclusions about the Two antenna approach?
- Are there alternative methods you would advise to consider? Can you describe such a method?

Wind-up

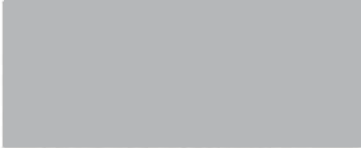
Productie





Radiocommunications Agency
Ministry of Economic Affairs

> Return address P.O. Box 450 9700 AL Groningen, The Netherlands



Emmasingel 1
9726 AH Groningen
P.O. Box 450
9700 AL Groningen
The Netherlands
T +31 50 587 74 44
F +31 50 587 74 00
www.agentschaptelecom.nl
info@agentschaptelecom.nl

Contact

T +31

Our reference

Enclosures
2

Date 4 October 2017
Subject Invitation to the presentation of the
Method for measuring EMI radiation of wind turbines i.r.t. LOFAR

Dear

I am pleased to invite you to the presentation of the Method for measuring the EMI radiation of wind turbines in relation to the LOFAR radio telescope. The meeting will be held in Groningen, The Netherlands, November 16th, 2017. In the morning there will be a general presentation and in the afternoon we reserved time for those individual windturbine manufacturers who are interested to talk separately to members of the project team without any competitors present.

Covenant Committee

The meeting is organized by the Covenant Committee aiming for EM interference reduction from wind turbines in relation to the LOFAR radio telescope, as described in the covenant between ASTRON and the initiators of the windfarm "Drentse Monden and Oostermoer". The presentation will be performed by members of the projectteam of the Dutch Radiocommunications Agency who designed the method. The measuring method has been established and ratified by the Radiocommunications Agency and is accepted by the Covenant Committee. The report containing the description of the method is attached.

The committee has invited the following windturbine manufacturers:

Day schedule 16 November 2017

Morning session: 09.00 – 12.30 hr

Afternoon sessions: 13.30 – 17.00 hr (half an hour per manufacturer)

Location: Radiocommunications Agency, Emmasingel 1, 9726AH, Groningen

Please register

We kindly ask to restrict your delegation to a number of two persons, at maximum three. Please send an e-mail to

with the name and function of the

persons who will attend the presentation.

Also state whether or not you will take the opportunity to ask questions individually in the afternoon sessions. In reply you will receive a confirmation and the timeslot you are scheduled for in the afternoon.

Date
4 October 2017

Our reference

Important notice upfront

We like to emphasise that the measurement *method* will be presented and not a concrete implementation of the method. The implications for actually measuring with a suitable measurement instrument will depend on various implementation decisions, such as the choice of a designated antenna configuration. The comparison of implementation options is in progress by the Covenant Committee.

Please send in your questions

Finally we invite you -after having read the report- to send in any questions about the measuring method up front, preferably 2 weeks in advance. This will help us to fine tune our presentation. Your questions will be anonymised. Please send your questions to

We look forward to your reply.

Kind regards,

Covenant Committee *co-existence*
windpark de Drentse monden & Oostermoer and LOFAR

Annex:

- Covenant co-existence windpark de Drentse monden & Oostermoer and LOFAR (in Dutch)
- Method for measuring the EMI radiation of wind turbines in relation to the LOFAR radio telescope

Productie **47**



> Retouradres Postbus 450 9700 AL Groningen

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
1

Datum 8 december 2016
Betreft Uitnodiging gesprek over storingsreductie

Geachte

Afgelopen zomer heeft u of een collega meegedacht met Agentschap Telecom over het verminderen van elektromagnetische stoorstraling door windturbines. Aanleiding was het voorgenomen windpark Drentse monden & Oostermoer en de verwachte storing op radiotelescoop LOFAR. Met deze brief nodigen wij u graag uit verder van gedachten te wisselen met de betrokken partijen.

Coördinatiecommissie

In september is er een convenant getekend tussen de initiatiefnemers van het windpark en Astron (eigenaar van Lofar). Beide partijen voeren het convenant uit middels een coördinatiecommissie, onder leiding van een onafhankelijk voorzitter en met ondersteuning van Agentschap Telecom.

Uitnodiging voor 25 januari

De commissie nodigt u graag uit voor een gesprek op 25 januari. We informeren u dan over de stappen die het Rijk inmiddels heeft gezet voor de totstandkoming van het windpark. Daarnaast zijn we benieuwd naar uw vorderingen en inzichten over de reductie van stoorstraling afkomstig van windturbines. Verschillende fabrikanten hebben bij Agentschap Telecom aangegeven daarvoor mogelijkheden te zien. De commissie nodigt dezelfde windturbinefabrikanten uit met wie in de zomer werd gesproken. Het gaat per fabrikant om een afzonderlijk gesprek met de commissie.

Binnenkort neemt de secretaris van de commissie telefonisch contact met u op om te horen of u op onze uitnodiging kunt ingaan en om in overleg een tijdstip te vinden voor het gesprek.

Met vriendelijk groet,

coördinatiecommissie Convenant co-existentie
windpark de Drentse monden & Oostermoer en Lofar

Bijlage:

- *Convenant co-existentie windpark de Drentse monden & Oostermoer en Lofar*

Productie





Review summary report

Subject	Preliminary Design Review of the Measurement method for measuring the EM radiation of windturbines in relation to the LOFAR radiotelescope
Date	May 11th, 2017 from 10.00 till 15.30 hrs
Location	Dutch Radiocommunications Agency, Amersfoort
Room	B.001

A) Participants

Reviewers

raunhofer Institut (German application-oriented research organization)
TNO (Dutch Organisation for applied scientific research)

Chairman

Deputy Director Radiocommunications Agency (RA)

Measurement project members

project leader (RA)
, project member (RA)
project member on behalf of windfarm initiators (Movares)
, project member (ASTRON)
secretary (RA)

B) General purpose of the Preliminary Design Review

Goal of the meeting was to get the expert opinion of both reviewers on the design of the measurement method, as presented. Main question is whether or not the so-called mini Array approach is considered suitable for the measurements required by the covenant. The following questions were leading during the whole review:

- What's your general comment on the measurement method as presented?
- Which part(s) stand out or are particular important?
- Are there any adjustments you would advise or insights to consider?
- Can you endorse the approach as presented?
- Do the reviewers share the conclusions about the Two antenna approach?
- Are there alternative methods you would advise to consider?

C) Organisation of the review and the Report

The review consisted of a morning and afternoon session. The first session involved presentations by the project members in order to give a detailed explanation of the method and choices made so far. The aim of the project is to describe a measurement method for a reliable assessment of the levels of interference by wind turbines at a 50 dB reduction level in relation to the norm of the covenant. In order to do so the project proposes a dedicated multichannel receiver method, in short *mini Array*.

The afternoon session started with a contribution of [redacted] about his EMC standardisation work and his measurement approach on windturbines. Then the reviewers were asked to explicitly state their critical opinions on the proposed approach. This was followed by a constructive discussion about the measurement project inspired by the questions and opinions of both reviewers.

What follows

This report does not give a chronological account of the sessions but continues with the overall conclusions of both reviewers (part D), and then the reviewer's advice and recommendations are documented (part E). Every recommendation is complemented by the reaction of the project team to take maximum benefit of the discussions.

D) Conclusions of both reviewers

Reviewers opinion on the Two antenna approach

Apart from the trade-offs between optimisation for sensitivity, the frequency-dependent spatial pattern and the discrimination of the source of interference, the measuring method has also to eliminate ionospheric effects which are very variable. It changes in time and space during the measurement period. In order to calibrate for these variations of the ionosphere you need to calibrate in each direction. Thus you can't eliminate the sources on the sky with only two antennas. This means that the Two antenna approach is not viable for the measurements of the covenant.

As an engineering tool the Two antenna approach might be of use for manufacturers, but only to give a relative indication of their EM-reduction efforts. It will also not be able to measure the full 50 dB reductions.

Reviewers opinion on the mini Array approach

Both reviewers agree that the mini Array approach looks very promising. It seems the only way to exclude the ex-terrestrial noise sources from the equation. It can reach the required sensitivity and can also differentiate the wind turbine interference from other environmental sources. There don't seem to be other possibilities than the mini Array approach for real measurements, or you should put a windturbine in a huge dome, isolated from the rest of the world. This however looks unrealistic.

The reviewers did not find mistakes in the underlying calculations shown by ASTRON and AT (regarding the sensitivity of 2- and multi-antenna measurements, the number of free parameters (degrees of freedom), the number of required antennas etc.).

The reviewers think the mini Array approach can measure up to 50dB reduction in theory and that 1 MHz is the correct bandwidth to measure it. It depends also on the mathematical processing. For the high band there's no question about the

attainable reliability, for the low band this will be a bigger challenge due to high galactic noise at 30 MHz and less effective antennas.

E) General and technical advise

In summary there are six recommendations. Every advise is followed by the reaction given by the project team during the review.

1: use zero span measurement

To demonstrate that the mini Array approach will give reliable results the project team will perform an experiment with a drone that simulates the EM radiation of a wind turbine. recommends the team to use zero span measurements for this experiment, and take the time variation of the interference into account. It gives more insight and more sensitivity. Zero span helps to assess the time domain behaviour of the signal.

Reaction

In reaction to the zero span advise the project team explains it's not possible to sample the data in that way with LOFAR, but the team will do a "sanity check" to see what radiation sparks the drone produces during the upcoming experiment with the drone.

2: take extra drone flights to measure the impact on LOFAR

In addition suggests to let the drone fly at the planned location of the windfarm in order to calibrate the path loss and measure the propagation of the interference source.

Reaction

This looks an excellent idea, but logistics and funding will be a challenge.

3: pay attention to propagation effects of the interference signal

comments that the propagation is an uncertainty, due to the soil and the weather conditions. It could be more or less. To get a better picture of the propagation of the ground wave one could buy GEO data and calculate the propagation loss. There are software packages with model calculations for ground waves.

The phase pattern of the signal needs more attention, because you're always measuring in the near field. For high frequencies reflection measurements this is less relevant, it especially applies to lower frequencies. You need some scan in the area to determine the near and far field. For this you could use simulations or a drone, provided the weather is bright. When sea path predictions are necessary, additional measurements over the sea could also be very useful.

For the definitive protocol the reviewers advise to use suitable directional antennas as interference sources might occur at 20 to 30 metres below the top of the turbine. Essential is to use a stable fixed position. For this purpose a drone is better than a balloon.

Reaction

The team clarifies that for the calibration the measurement method supposes the use of a test source: a calibrated transmitter independent of the environment or influence of the wind turbine. Without it it's not possible to calibrate the propagation or the antenna gains. Using a calibrated interference source the method becomes independent of the propagation path of a particular wind turbine location and it's applicable on any kind of wind turbine.

There are various options where to place the calibrated test source on the windturbine during an experiment with an actual wind turbine or during the monitoring of the windfarm. The right way to deploy the source is still part of the research. It might be a drone as well as a source on the nacelle.

Further the project members consider to use an on/off calibration sequence of the test source, while assuming neither the soil nor the wind turbine will change significantly during the experiment

4: use vertical and more sensitive antennas to measure the low band

recommends vertical and more sensitive antennas to measure the low band from 30 to 50 MHz.

Reaction

If the experiment with the drone shows the standard LOFAR antennas aren't sufficient the project will indeed consider to prescribe special antennas for the low band, and if vertical is not practical at least slant antennas will be recommended.

5: measure at night to reduce terrestrial noise

During the night there is less terrestrial noise under 50MHz.

Reaction

For this it's important to define actually the galactic day and night. It depends on the day of the year where the galactic centre is situated. The best time of day and year to measure will be described in the method.

6: be aware of changes in the wind speed and direction during measurement

points out that with measurements of wind turbines any change of wind has impact on the EM radiation of the wind turbine, because the whole 'machinery' adapts to it, e.g. the blades that act differently, the electrical load changes etc. For the measurement it's critical to be aware of these substantial effects.

Reaction

Important, will be taken into account in the description of the method.

7: measurements from (4) different directions might be necessary

recalls his experience that in order to characterise a wind turbine measurements from 4 directions towards the wind turbine might be necessary.

Reaction

The team agrees. Depending on the situation it might be possible to reduce this number by establishing the most critical direction(s) in a pre-check using dedicated sensitive measuring antennas. It is important to mention this in the preparatory stages of the measurement protocol.

F) Reviewers approval

I agree that this report is a correct rendition of the Preliminary Design Review session of the Measurement method for measuring the EM radiation of wind turbines in relation to the LOFAR radio telescope held in Amersfoort on May 11th 2017.

Place and date of signature

Place and date of signature

.....
For Fraunhofer Institute

.....
For TNO

Productie 

LOFAR astronomische radio telescoop Drentse Monden wind turbine park

Beschouwing over radio technische co-existentie
door Agentschap Telecom

Inleiding

LOFAR is een uitgestrekt phased-array antennesysteem voor radio astronomie dat wordt ontwikkeld en bedreven door ASTRON. De core met hoogste gevoeligheid ligt vlak bij het Drentse dorp Exloo.

Drentse Monden is een voorgesteld wind turbine park. De dichtsbijstaande windturbines zijn gepland op enkele km vanaf de LOFAR core.

Agentschap Telecom heeft de vraag voorgelegd gekregen of co-existentie op technische gronden mogelijk is.

Gegevens

In het kader van de milieu effect rapportage over Drentse Monden is al naar mogelijke verstoring van LOFAR gekeken. Dit is gebeurd door het Engelse bedrijf Pager Power, specialist in de effecten van wind turbine parken op luchtvaart systemen. Mogelijke verstoringen van LOFAR worden erkend. De exacte impact zou met ASTRON moeten worden opgenomen. (, Pager Power)

Naast de core heeft LOFAR aan spiraal armen liggende neven velden. Een neven veld ligt op enkele km van een groep windturbines bij Eemsmond. Aan deze combinatie is gemeten en die uitkomst is geëxtrapoleerd naar de veel gevoeliger core. (' , ASTRON)

Pager Power en ASTRON hebben vice versa elkaars rapporten becommentarieerd. (. ,), maar komen niet tot eensluidende conclusies.

LOFAR heeft een aantal RAST banden in NFP 2005 toegewezen gekregen op basis van BOP OCW claims.

Co-existentie

Voor Pager Power, vanuit de positie van Drentse Monden geredeneerd, lijkt co-existentie redelijk mogelijk. Men is ook bereid tot gezamenlijk onderzoek. Maar het rapport van Pager Power geeft ook aan op een aantal punten nog verificatie door ASTRON nodig te hebben.

Voor ASTRON lijkt co-existentie op de voorgestelde locatie niet mogelijk. Maar hun metingen bij Eemsmond waarop ze dit o.a. baseren, hebben hier en daar nog slecht begrepen uitkomsten, zoals een ongedefinieerde sterke stoorbron en merkwaardige verschillen tussen LOFAR lage en hoge banden. De extrapolatie of schaling naar de LOFAR core is slechts voor ingewijden te begrijpen.

Hoe verder

Gezien de onzekerheden die aan beide kanten over zijn gebleven, en de grote belangen, wil Agentschap Telecom voorstellen dat ASTRON en Pager Power (namens Drentse Monden) gezamenlijk onderzoeken of en hoe een voor beide partijen werkbare configuratie van wind turbines mogelijk zou zijn. Daarbij kan men denken aan de minimale afstand tot de LOFAR core, keuze van het windturbine type, specifiek ontworpen ontstoringen, een extra bomenrij, coördinatie van de operaties en andere mitigatie methoden.

Agentschap Telecom kan dit onderzoek desgewenst begeleiden, support geven met eigen expertise en eventueel een experimenteerlicentie.

Productie 

Onderstaande scenario's hebben te maken met het kwantificeren van de verhoging van het EM milieu ter plaatse van de kern.
Daarnaast moet ook nog beter onderzocht worden hoe het effect van het LOFAR systeem op deze verhoging reageert. Hier is de hulp van Astron voor nodig

Stoorscenario	Wat is gedaan?	Bevindingen	Conclusie co-existentie mbt wensen Astron	Nog te doen
1. Ontladingen van door wrijvingsverschijnselen opgeladen rotor bladen	Geen onderzoek door AT gedaan	Er kan sprake zijn van een effect. Belangrijk is dat voorkomen wordt dat deze effecten bij veroudering van de windmolens kunnen plaatsvinden	Bij Astron verifiëren of zij hier problemen verwachten	Niet aannemelijk dat hier grote problemen ontstaan maar nog wel verder onderbouwen. In het rapport hier iets over opnemen. Zoeken in literatuur welke velden dit kan veroorzaken en indien mogelijk kwantificeren als stoorveld ter plaatse van de kern.
2. Stoorsignalen verspreid via het elektriciteitsnet	Geen onderzoek door AT gedaan			AT verwacht dat dit probleem met adequate filtering kan worden voorkomen. Mogelijk zijn wel specifieke design eisen nodig die verder gaan dan de Europese regelgeving (EMC richtlijn)

Stoorscenario	Wat is gedaan?	Bevindingen	Conclusie co-existentie mbt wensen Astron	Nog te doen
3. Radio-stooremissies tgv elektrische installatie/apparaten in de windmolens	Enkele oriënterende emissiemetingen aan de voet van windturbines in Eemshaven.	Metingen laten tussen verschillende windmolens verschillen zien in stooremissies. Oorzaak kan ook zijn dat electronica in voet of nacelle zit Een meting laat zien dat het mogelijk is om het emissieniveau van de windmolens te kunnen reduceren tot x dB onder CISPR 11 niveau (Europese norm) Astron geeft aan een niveau van 0,01 nW/100MHz per windmolens te kunnen accepteren op een afstand van 10 m tot de windmolens bij direct zicht tussen windmolens en kern	Er kan wel/niet voldaan worden aan de wensen van Astron indien voldaan wordt aan strenge (strenger dan wettelijk verplicht) maar haalbare EMC ontwerpeisen.	Uitrekenen en kwantificeren welke velden er ontstaan ter plaatse van de LOFAR kern ten gevolge van de elektronica in de windmolens op basis van CISPR 11 niveau. m.a.w. de omgevings-ruisverhoging vaststellen ter plaatse van de kern. Gebruik bv ITU rekenmodel GRWAVE Dit ook afzetten tegen het huidige EM omgevingsniveau en het niveau van de 'gewenste signalen (uit de ruimte) Eventueel een meting van het huidige ruisniveau ter plaatse van de lofar kern of gebruik maken van meetgegevens van Astron of gebruik maken van ITU gegevens. Daarnaast ook de demping meenemen ten gevolge van het stralingsdiagram van de individuele Lofar antenne elementen. Uitzoeken welke emissieniveaus voor windmolens daadwerkelijk haalbaar zijn. Inschatten of/ en zo ja voor welke LOFAR observaties de te verwachten stoorevelden een probleem zijn

Stoorscenario	Wat is gedaan?	Bevindingen	Conclusie co-existentie mbt wensen Astron	Nog te doen
4. Blokkeren en afbuigen van te meten signalen uit de ruimte vanuit een kleine elevatiehoek (laag bij de grond)	Nog geen onderzoek door AT gedaan Astron gaat een experiment uitvoeren	<i>Aanwijzingen:</i> <i>Bij obstructie in de waarnemingsrichting door windmolens zijn bepaalde integratietijden minder bruikbaar en afhankelijk van bladrotatiesnelheid</i> <i>Slechts klein percentage van de observaties (onder lage elevatiehoek heeft hier last van</i>	Er kan wel/niet voldaan worden aan de wensen van Astron	Effecten mbt stooramplitude lijken voornamelijk gering maar geldt dit ook voor de fase? (TNO en Duitse overheid vonden bij soortgelijk onderzoek onacceptabel grote effecten) Amplitude en fasefouten ter plaatse van de Lofar kern kwantificeren mbv Numerical Electromagnetic Code (NEC). RCS van windmolens nog verder uitdiepen zodat een betrouwbare inschatting kan worden gemaakt Berekeningen uitvoeren van faseverschillen door stoorsignalen. Meer info over stralingsdiagram LOFAR na processing. (Bundelbreedte azimuth elevatie.)
5. Reflecteren en verstrooien door windmolens van stoorsignalen uit Stadskanaal	Astron heeft onderzoek uitgevoerd bij Roodeschool AT onderzoek naar EM milieu op 2 plaatsen in Stadskanaal AT meting reflectie-eigenschappen van een windmolen in	Astron toont het effect aan van reflectie van een sterke stoorbron door een windmolen. Uitgaande van EM milieu in Stadskanaal en de reflectie-eigenschappen van windmolens wordt er x dBuV/m aan stoorniveau toegevoegd ter plaatse van de kern	Er kan wel/niet voldaan worden aan de wensen van Astron	Kwantificeren van de verhoging van het EM milieu ter plaatse van de kern. Afschatting maken door simulatie met NEC Dit ook afzetten tegen het huidige EM omgevingsniveau en het niveau van de 'gewenste signalen (uit de ruimte) ter plaatse van de kern

Stoorscenario	Wat is gedaan?	Bevindingen	Conclusie co-existentie mbt wensen Astron	Nog te doen
	de Flevopolder bij 50 MHz en 200 MHz			
6. Reflecteren en verstrooien van omroepsignalen	Ruwe berekening door AT	<i>Dit zorgt naar verwachting niet voor een oversturing van de actieve antennes</i>	Er kan wel/niet voldaan worden aan de wensen van Astron	Verder uitzoeken of oversturing plaatsvindt in de actieve antennes. Zie verder stoorscenario 5. Uitgaande van de uitgestraalde vermogens van DAB zenders en de reflectie-eigenschappen van windmolens wordt er x dBuV/m aan stoorniveau toegevoegd ter plaatse van de kern.
7. Reflecteren en verstrooien van signalen uit de ruimte onder een hogere elevatiehoek (ten opzichte van de horizon)	-			Verhoging EM ruisniveau kwantificeren Zie stoorscenario 4

Stoorscenario	Wat is gedaan?	Bevindingen	Conclusie co-existentie mbt wensen Astron	Nog te doen

Productie



Verslag 10 okt overleg analyse meetvarianten, AT.

Aanwezig:
(verslag).

Publicatie rapport

Het rapport met de meetmethode is gedeeld met de fabrikanten. Belangstellenden kunnen het rapport krijgen. deelt de meetmethode binnen de ECC en de Italianen.

Software

Er moet ook software gemaakt worden voor het aansturen van de meetmethode (Python modules) los van wat gemaakt is voor meetmethode.

Stand van zaken antennes

Input van over de antennepatronen is voldoende voor Voor 30 MHz zijn 88 antennes nodig voor 1000 sec integratietijd en 33 antennes voor 2 uur integratietijd (thermische gevoeligheid), zijlussen van andere bronnen zijn daarin nog niet meegenomen. Uitrekenen op basis van patronen gaat mee aan de slag. Dit is met 5 graden elevatie. Met de gain op 2,5 graden elevatie worden het meer antennes. Is 5 graden elevatie voldoende? Mis je dan niet EM-straling van grondapparatuur onderin de molen? Storing op grondniveau die niet naar boven komt, is geen probleem voor LOFAR.

Voorversterker

: de antenne gaan we kopen. Hoe zit het met de voorversterker? Ruisgetallen van ontvanger en versterker moet je bij elkaar optellen, afhankelijk van wat je nog wilt kunnen zien, moet je een ontvanger kiezen geeft aan. Dit uitzoeken kost tijd. Vraag/opdracht is als wij het zouden doen, welke keuzes maken we dan? dan zouden we ene Ettus USP ontvanger nemen, gevoeligheid moet wel gecheckt worden van tevoren. gaat kijken waar een geschikte LNA aan moet voldoen. NB: het gaat om de ruistemperatuur.

Voorwaarden windrichting en windkracht tijdens meting

: welke voorwaarden verbinden we bij de meting aan de windrichting? het beste is te kijken waar statistisch het vaakst de wind vandaan komt, voor LOFAR is dat waarschijnlijk Zuidwestenwind. : er zijn 2 metingen nodig: een meting met molenwiek oriëntatie hoofdrichting op antenneveld, met een afwijking van max 20 graden en eentje met de rotor loodrecht op 90 graden. Tijdens de meting is vol vermogen noodzakelijk, tussen de windkracht 4 en 6.

Indeling rapport

We beschrijven kosten, doorlooptijd en eventuele risico's. Gaat om hard- en software meetinstrument en uitvoering van de meting. Installatietijd van het antenneveld moet er ook bij in.

We spreken af dat alle input tot nog toe in een raamwerk zetten en dat donderdag rondsturen zodat iedereen verder kan schrijven, op 24 oktober is schrijfdag om het stuk definitief te maken.

Actielijst na 10 sept

- vraagt aan communicatie hoe het rapport praktisch op de site kan komen.
- Aanleveren outline uiterlijk donderdag om verder te invullen
- ekent aan het aantal antennes op basis van antennepatronen van

- maakt analyse van ontvanger specificaties voor minimale pre-amp en schrijft op wat ontwikkeling zou kosten en de doorlooptijd. Concept legt voor aan
- schrijft het hoofdstuk over de variant waarbij de te testen turbines alvast geplaatst worden op de locatie van het windpark.
- Beschrijven en berekenen procesrollen bij meten / operationele stuk / validatie

Productie



Verslag 27 sept overleg analyse meetvarianten, AT.

Aanwezig:
(verslag).

, kan niet meer bijdragen omdat zijn expertise elders binnen ASTRON nodig is.

heeft wel iets op papier met kosten voor antenne ontwerp voor de 30 MHz. Document stuurt , rond. Doorlooptijd van ca een jaar met 2 Fte. Coax kabel uitzoeken, oa op elektrische lengte: enkele maanden. Ontwikkeling ontvangers monitoring en control, storage cluster ontwerp: 3 fte, jaar doorlooptijd. Offline verwerking: 1 jaar doorlooptijd. Alles bijelkaar: doorlooptijd 1 a 2 jaar. R&D kosten 1 mln. Componenten tussen 3 en 8 ton. In totaal tussen 1 a 2 mln. Kosten kun je delen als je m vaker inzet. Onzekerheidsfactor inschatting is 50%.

Meneer van Roder Schwartz kan met pre-amp direct onder USP komt met voldoende systeemgevoeligheid. Goeie pre-amp kan oplossing zijn. Koppelen we ontvanger en antenne aan elkaar of niet? Dit kunnen we meenemen in de analyse.

Nog een optie komt ter tafel: ASTRON tech holding heeft voor 5 ton een container met ontvangers klaar staan voor de datacapture. Software en storage moet er dan nog wel bij. En ook antenne ontwerp moet er dan nog bij. Hou je nog steeds 2Fte en jaar doorlooptijd over en voor coaxkabels enkele maanden, storage etc. Zeker 4 fte voor data capture incl antennes. En voor offline verwerking verandert er ook niks. Je bespaart ongeveer 2 fte voor de ontvanger kant en minder risico wbt de integratie. Totaal 5 a 6 ipv 7 a 8 fte.

Doorlooptijd wordt vooral bepaald door antennes die gebruikt worden. ziet het niet gebeuren om binnen een half jaar antennes te kiezen en te testen. Verificatie meting zul je altijd moeten doen.

: totale systeem bekijken, niet naar losse antennes. Mogelijk ligt ontwerp er al: ontwerp ooit gemaakt voor LOFAR maar afgeschoten ivm te veel thermische warmte; zoekt het ontwerp op. Einde van vergadering besluiten dat we commerciële antennes hierbij gebruiken. Het wordt een disc-cone.

: we gaan de varianten opschrijven, balans in tijd en geld.
We hebben nu

1 Snel en praktische variant: ASTRON Tech holding levert container

2 Meest goedkope variant: antennes van AMAZON en

Bij alles onzekerheden / risico's benoemen.

brengt de discussie op gang met vraag of antennes van Amazon geschikt zijn: LNA, (lownoise amplifier), antenne van Amazon, Ettis ontvangers met kaart, Anti-alias filter, hoe gevoelig en hoe lineair? Is de LNA van Christoph Roner geschikt? Dat moet uitgezocht. Waarschijnlijk eigen ontwerp nodig, ook al is het gebaseerd op bestaand ontwerp. Half jaar programmeren voor monitoring en control en storage hou je sowieso.

Discussie gaat vervolgens over wat reële doorlooptijd is. 8 maanden werk en doorlooptijd half jaar hadden we nu al met ontwerp voor de meting met de DRONE en dan heb je het over meten met bestaande configuratie van LOFAR.

: het moet in elk geval een verhaal worden dat we kunnen uitleggen.

Omgevingsanalyse

Geen elektrische treinen in de buurt?

Uiterlijk 30 oktober moeten we onze analyse aanleveren.

de variant waarbij antennes bij proefveld van fabrikant wordt geplaatst, sluit de optie uit om de ontvangers direct aan de antennes te koppelen.

Actielijst na 27 sept

- brengt de planologische stappen en risico's in kaart voor de variant waarbij alvast een turbine bij het beoogde windpark wordt geplaatst en de kostenindicatie (volledig operationele turbine)
- levert de witte vlekken aan die hij heeft geconstateerd.
- neemt contact op met fabrikanten met de vraag (alvast voorzichtig informeren):
- of fabrikanten de huidige frequentie-vlakke eis prefereren of een eis die op de lage frequenties wat minder streng wordt maar op de hoge frequenties wat strenger. *Aanvulling: moet via initiatiefnemers.*
- of ze open staan voor de variant waarbij een antenneveld nabij het beoogde windpark wordt geplaatst en er alvast een testturbine wordt geplaatst voor certificering.
- Of ze brood zien in een meetinstrument waarbij een antenneveld bij hun testlocatie (op hun kosten) wordt aangelegd

- Stuurt document van rond.

- Beschrijven en berekenen procesrollen bij meten / operationele stuk / validatie (adhv input van en document.)

- Uitzoeken of disc-cone antennediagram voldoet en diagram doorgeven aan en zelfde analyse voor een 'domme spriet'. Dit naast elkaar zetten.

- Structuur rapportage

Productie



Vragen aan initiatiefnemers op 10 feb

- Wat zijn voor- en nadelen van apart aanbesteden?
- Hoe treden jullie de fabrikanten tegemoet, apart of samen?
- Hoe geven we de preselectie vorm, gegeven de input bij de laatste bijeenkomst?
- Wie schrijft het bestek/de voorwaarden voor de preselectie? Heeft u die kennis in huis of heeft u (nog) een adviseur nodig?
- Wie beoordeelt de aanbesteding? Wie weegt de reductie af tov levertijd?

Boodschap aan initiatiefnemers:

- Je kunt niet 3 typen molens gaan inkopen: aansturing onhoudbaar en kans op discussie over wie verstoring veroorzaakt.
- Er moet een preselectie (beauty contest) komen voordat de echte aanbesteding volgt.
- Voorstel: alle fabrikanten krijgen inhoud preselectie aangeboden, wie mee wil doen aan de aanbesteding moet voldoen aan eisen preselectie. Dan houden we er waarschijnlijk 3 over.

Inhoud preselectie

- Instemmen met deze spelregels om toegang te krijgen tot de aanbesteding:
- De reductie (35dB of meer) tov de norm wordt aangetoond middels een prototype (of evt. modelmatig bewijs?) waarop de reductiemaatregelen zijn toegepast.
- De drie fabrikanten met de hoogste reductie en beste leveringsvoorwaarden doen mee aan de aanbesteding.
- Kosten prototype zijn voor fabrikant.

Aanzet aanbestedingscriteria voor fabrikanten

- Alle 45 molens worden in 1x aanbesteed
- Productie mag gedeeld/uitbesteed worden
- Alle 45 molens moeten binnen een bepaalde periode geleverd worden.

Aanvullende vragen voor initiatiefnemers

Kunnen de molens direct geplaatst worden of wil je ze gefaseerd? Moet er nog infrastructuur worden aangelegd waardoor je ze niet alle 45 ineens wil?

Vervolg proces

Als initiatiefnemers instemmen met idee van preselectie:

- Wat willen jullie zelf in de preselectie?
- Actie initiatiefnemers: protocol informeel toetsen bij fabrikanten (hoever kun je gaan met prototype, wat is voor jullie van belang)
- Initiatiefnemers houden zelf aparte sessies met fabrikanten om protocol te bespreken
- CoCo bespreekt en stemt in met protocol

MEETMETHODIEK

- wordt projectleider van het proces, van de inhoud.
- Presentatie op 10 feb: wat hebben gedaan en welke stappen volgen
- Ontwikkelkosten mini-lofar: weinig kans dat EZ hieraan bijdraagt. Hebben we wel een mini lofar nodig? Volstaan de Zuid-Afrikaanse antennes niet?
- We gaan aan 1 molen meten. Is de reductie hoog genoeg, dan is één molen afdoende.

Inhoudelijke vragen voor (uitzetten door)

Welke tijdschaal wordt in de meetmethodiek toegepast?

afgeschermd? wat is de propagatie over de grond? Wat als de convertor goed wordt

Vraag aan [redacted] over modelplaatje: om welk type molen gaat het en welke parameters horen bij het propagatiediagram dat werd getoond (tijd, afstand)? Wat gebeurt er met die propagatie als de convertor (beneden) wordt afgeschermd?

Hoeveel verstoring geeft de convertor in verhouding tot andere veroorzakers / bronnen in de molen?

Idee: losse convertor en dan kooi eromheen en die bij Lofar plaatsen zodat Lofar de storing kan meten. (ervan uitgaand dat de rest in de molen allemaal ingepakt is en los van de reflectie)

Acties

belt met

- Voorbespreking 10 feb
- zoek iemand die het bestek kan schrijven en de aanbesteding kan leiden voor de inkoopcombinatie.

bereid met stappenplan voor

Productie





Radiocommunications Agency
Ministry of Economic Affairs

> Return address P.O. Box 450 9700 AL Groningen, The Netherlands

Emmasingel 1
9726 AH Groningen
P.O. Box 450
9700 AL Groningen
The Netherlands
T +31 50 587 74 44
F +31 50 587 74 00
www.agentschaptelecom.nl
info@agentschaptelecom.nl

Contact

T

Our reference
AT-EZ/

Enclosures
2

Date 4 October 2017
Subject Invitation to the presentation of the
Method for measuring EMI radiation of wind turbines i.r.t. LOFAR

Dear

I am pleased to invite you to the presentation of the Method for measuring the EMI radiation of wind turbines in relation to the LOFAR radio telescope. The meeting will be held in Groningen, The Netherlands, November 16th, 2017. In the morning there will be a general presentation and in the afternoon we reserved time for those individual windturbine manufacturers who are interested to talk separately to members of the project team without any competitors present.

Covenant Committee

The meeting is organized by the Covenant Committee aiming for EM interference reduction from wind turbines in relation to the LOFAR radio telescope, as described in the covenant between ASTRON and the initiators of the windfarm "Drentse Monden and Oostermoer". The presentation will be performed by members of the projectteam of the Dutch Radiocommunications Agency who designed the method. The measuring method has been established and ratified by the Radiocommunications Agency and is accepted by the Covenant Committee. The report containing the description of the method is attached.

The committee has invited the following windturbine manufacturers:

Day schedule 16 November 2017

Morning session: 09.00 – 12.30 hr

Afternoon sessions: 13.30 – 17.00 hr (half an hour per manufacturer)

Location: Radiocommunications Agency, Emmasingel 1, 9726AH, Groningen

Please register

We kindly ask to restrict your delegation to a number of two persons, at maximum three. Please send an e-mail to

with the name and function of the

persons who will attend the presentation.

Also state whether or not you will take the opportunity to ask questions individually in the afternoon sessions. In reply you will receive a confirmation and the timeslot you are scheduled for in the afternoon.

Important notice upfront

We like to emphasise that the measurement *method* will be presented and not a concrete implementation of the method. The implications for actually measuring with a suitable measurement instrument will depend on various implementation decisions, such as the choice of a designated antenna configuration. The comparison of implementation options is in progress by the Covenant Committee.

Date
4 October 2017

Our reference
AT-EZ/

Please send in your questions

Finally we invite you -after having read the report- to send in any questions about the measuring method up front, preferably 2 weeks in advance. This will help us to fine tune our presentation. Your questions will be anonymised. Please send your questions to

We look forward to your reply.

Kind regards,

Covenant Committee *co-existence*
windpark de Drentse monden & Oostermoer and LOFAR

Annex:

- Covenant co-existence windpark de Drentse monden & Oostermoer and LOFAR (in Dutch)
- Method for measuring the EMI radiation of wind turbines in relation to the LOFAR radio telescope

Productie



, ASTRON (verslag review)
, Agentschap Telecom (verslag)

Bij ASTRON te Dwingeloo

Interpretatie van het experiment dat door is gedaan aan de windturbines bij de Eemshaven.

Ten behoeve van de problematische co-existentie van LOFAR en het voorgestelde windmolenpark Drentse Monden zoekt ASTRON uit wat de mogelijke nadelen voor het LOFAR systeem zijn. Een van de mogelijke versturende mechanismen is het reflectie, verspreiding en diffractie van stoorbronnen in de buurt die door de windturbines in het zichtveld van LOFAR worden gebracht. Dit mechanisme is nu onderzocht.

Verreweg de meeste stoorbronnen zitten dicht bij de grond. Vanuit zichzelf zijn ze buiten zicht van de LOFAR ontvangers maar door windturbines in de nabijheid ervan die ook in het zicht van de LOFAR ontvangers zijn wordt het signaal ingekoppeld.

Bij Eemshaven staan al meerdere jaren een groot aantal windturbines, Enkelen tientallen van ca 3 MW en 2 stuks van 6 MW. Op circa 5 km afstand ervan ligt bij Roodeschool een LOFAR remote station RS509. Vanaf dit station zijn de windturbines bij Eemsmond goed in zicht. heeft dit station, dat hij vanaf zijn eigen kantoor kan bedienen, gebruikt om een aantal experimenten uit te voeren.

LOFAR is een zogenaamd phased array antennesysteem. Dat betekent dat men, zonder met de antennes zelf te manipuleren, een 'kijkbundel' kan richten. heeft op deze manier vanuit het station RS509 naar de windturbines op Eemshaven gekeken.

Dit is veelal gebeurd met windsterktes van 4 Beaufort en meer, wat resulteerde in redelijk vaste draaisnelheden van 16 RPM bij de 3 MW turbines en 12 RPM bij de 6 MW turbines.

Hierbij blijkt een flink stuk spectrum rond 50 MHz te gaan fluctueren, een amplitudemodulatie te krijgen met 16 en 48 maal per minuut, het draaipatroon van de 3 MW turbines. De oorspronkelijke bron is waarschijnlijk een zich ook bij Eemshaven bevindend schakelstation. Het stoorsignaal hiervan wordt fluctuerend in de LOFAR antennes gestraald. Op dit moment worden LOFAR gegevens die storing bevatten verwijderd. Het totale verlies bedraagt typisch 3 tot 7%. Doordat de weerkaatste storing zoals waargenomen in Roodeschool een zeer groot deel van de meetgegevens tussen 30 en 80 MHz aantast, blijven er niet voldoende bruikbare gegevens meer over om mee verder te werken.

Het is onder bepaalde voorwaarden mogelijk om fluctuerende stoorbronnen zoals windturbines af te trekken van de aangetaste metingen. Voor iedere windturbine moet dan iedere seconde gezien vanuit ieder antennestation in het centrale gebied de radio-helderheid bepaald worden door een rekenkundig model van het meetproces met de gemeten gegevens te vergelijken. Voor het bepalen van deze helderheden uit de gemeten gegevens wordt voor iedere windturbine een stuk informatie aan de metingen onttrokken. Mede door de grote aantallen windturbines bij elkaar kan de storing niet meer worden weg-gerekend.

Een soortgelijke waarneming is uitgevoerd door in een andere frequentieband naar het Eemshaven windturbines te kijken, in het T-DAB kanaal 5C, digitale radio. Ook hier bleken fluctuaties met de draaisnelheid van de windturbines door te komen.

De invloed van Drentse Monden zou plaats gaan vinden op de LOFAR core. Die heeft een ontvangst antenne oppervlak van 24 maal dat van station RS 509. De invloed van verstoringen wordt daar 24^2 maal sterker. De waarneemtijd bij gelijke bandbreedte verhoudt zich met het kwadraat van de oppervlakte verhouding. Dat vindt

men dan weer terug in benodigde waarnemingstijd. 10 uur op een buitenstation komt dan overeen met ongeveer 1 minuut voor het centrale gebied.

Dit brengt de conclusie dat Drentse Monden een desastreuze invloed op LOFAR gaat hebben.

Een belangrijke constatering is dat LOFAR een versatiel instrument is dat op allerlei manieren kan worden ingezet. Mogelijke verstoringen en beïnvloedingen werken verschillend uit op de verschillende wijzen van inzet. Ook ten behoeve van input in de CEPT ECC forumgroep over invloed van windturbines op allerlei radio applicaties gaat ASTRON het rapport over het Eemshaven experiment zodanig bijwerken dat het goed inzichtelijk wordt voor de daar participerende radio en EMC experts. Het is nu eigenlijk alleen inzichtelijk voor radio astronomie experts.

Een experiment bij Appingedam

ASTRON heeft ook behoefte om te weten wat er gebeurt als een ster achter een windturbine zit, dat is ook een punt van discussie. Om dit uit te vinden gaat met een remote station bij Appingedam kijken naar een richting in het noorden waar een windturbine staat. De sterke ster en radio bron Cygnus A gaat daar achterlangs schuiven. Daarmee kan bepaald worden of eerste, tweede of hogere Fresnel zones zodanig worden beïnvloed dat ze vrij zouden moeten blijven.

Verdere experimenten

Er zijn wat meer experimenten mogelijk om meer inzicht te krijgen in wat de gevolgen kunnen zijn van het wind turbine park Drentse Monden, en van mitigatie mogelijkheden.

Als er ergens in de buurt van de bedoelde plaats een individuele molen van ongeveer 3 MW zou kunnen komen kan dat veel onzekerheden wegnemen, zonder direct grote schade aan te richten. De invloed van een individuele molen is waarschijnlijk goed uit metingen die radiofoto's opleveren weg te rekenen, en is waarschijnlijk acceptabel voor andere metingen, mits de afstand tot de antennestations voldoende groot is.

In de buurt van Schoonebeek is waarschijnlijk een geschikte plaats te vinden om een afschermende proef-wal neer te leggen. Een wal met struikgewas of een bosrand is een heel geschikte afscherming, en past redelijk in het landschap. Een wal met struikjes is snel aan te leggen.

Een ander denkbaar experiment is het in kaart brengen van radiostoring op 100 m en 200 m hoogte op een aantal, bij voorbeeld 3, representatieve plekken in het voorgenomen windpark. Misschien met behulp van een stationaire zeppelin die per locatie zeg een week aan dynamisch spectra opneemt op 0.1 s en 12 kHz resolutie in de volledige LOFAR banden. Ik moet nog goed nadenken of dat tot op een relevante gevoeligheid kan, maar dat zou een hoop giswerk weghalen als het gaat om de te verwachte storingssituatie. Een stationaire zeppelin voor reclamadoeleinden is zo te huur.

Productie





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

Created by

T +31 6

Review summary report

Subject	Preliminary Design Review of the Measurement method for measuring the EM radiation of windturbines in relation to the LOFAR radiotelescope
Date	May 11th, 2017 from 10.00 till 15.30 hrs
Location	Dutch Radiocommunications Agency, Amersfoort
Room	B.001

A) Participants

Reviewers

, Fraunhofer Institut (German application-oriented research organization)
, TNO (Dutch Organisation for applied scientific research)

Chairman

(RA)

Measurement project members

r (RA)

- (RA)

(Movares)

r (ASIRON)

(RA)

B) General purpose of the Preliminary Design Review

Goal of the meeting was to get the expert opinion of both reviewers on the design of the measurement method, as presented. Main question is whether or not the so-called mini Array approach is considered suitable for the measurements required by the covenant. The following questions were leading during the whole review:

- What's your general comment on the measurement method as presented?
- Which part(s) stand out or are particular important?
- Are there any adjustments you would advise or insights to consider?
- Can you endorse the approach as presented?
- Do the reviewers share the conclusions about the Two antenna approach?
- Are there alternative methods you would advise to consider?

C) Organisation of the review and the Report

The review consisted of a morning and afternoon session. The first session involved presentations by the project members in order to give a detailed explanation of the method and choices made so far. The aim of the project is to describe a measurement method for a reliable assessment of the levels of interference by wind turbines at a 50 dB reduction level in relation to the norm of the covenant. In order to do so the project proposes a dedicated multichannel receiver method, in short *mini Array*.

The afternoon session started with a contribution of [redacted] about his EMC standardisation work and his measurement approach on windturbines. Then the reviewers were asked to explicitly state their critical opinions on the proposed approach. This was followed by a constructive discussion about the measurement project inspired by the questions and opinions of both reviewers.

What follows

This report does not give a chronological account of the sessions but continues with the overall conclusions of both reviewers (part D), and then the reviewer's advice and recommendations are documented (part E). Every recommendation is complemented by the reaction of the project team to take maximum benefit of the discussions.

D) Conclusions of both reviewers

Reviewers opinion on the Two antenna approach

Apart from the trade-offs between optimisation for sensitivity, the frequency-dependent spatial pattern and the discrimination of the source of interference, the measuring method has also to eliminate ionospheric effects which are very variable. It changes in time and space during the measurement period. In order to calibrate for these variations of the ionosphere you need to calibrate in each direction. Thus you can't eliminate the sources on the sky with only two antennas. This means that the Two antenna approach is not viable for the measurements of the covenant.

As an engineering tool the Two antenna approach might be of use for manufacturers, but only to give a relative indication of their EM-reduction efforts. It will also not be able to measure the full 50 dB reductions.

Reviewers opinion on the mini Array approach

Both reviewers agree that the mini Array approach looks very promising. It seems the only way to exclude the ex-terrestrial noise sources from the equation. It can reach the required sensitivity and can also differentiate the wind turbine interference from other environmental sources. There don't seem to be other possibilities than the mini Array approach for real measurements, or you should put a windturbine in a huge dome, isolated from the rest of the world. This however looks unrealistic.

The reviewers did not find mistakes in the underlying calculations shown by ASTRON and AT (regarding the sensitivity of 2- and multi-antenna measurements, the number of free parameters (degrees of freedom), the number of required antennas etc.).

The reviewers think the mini Array approach can measure up to 50dB reduction in theory and that 1 MHz is the correct bandwidth to measure it. It depends also on the mathematical processing. For the high band there's no question about the

attainable reliability, for the low band this will be a bigger challenge due to high galactic noise at 30 MHz and less effective antennas.

E) General and technical advise

In summary there are six recommendations. Every advise is followed by the reaction given by the project team during the review.

1: use zero span measurement

To demonstrate that the mini Array approach will give reliable results the project team will perform an experiment with a drone that simulates the EM radiation of a wind turbine.

recommends the team to use zero span measurements for this experiment, and take the time variation of the interference into account. It gives more insight and more sensitivity. Zero span helps to assess the time domain behaviour of the signal.

Reaction

In reaction to the zero span advise the project team explains it's not possible to sample the data in that way with LOFAR, but the team will do a "sanity check" to see what radiation sparks the drone produces during the upcoming experiment with the drone.

2: take extra drone flights to measure the impact on LOFAR

In addition suggests to let the drone fly at the planned location of the windfarm in order to calibrate the path loss and measure the propagation of the interference source.

Reaction

This looks an excellent idea, but logistics and funding will be a challenge.

3: pay attention to propagation effects of the interference signal

comments that the propagation is an uncertainty, due to the soil and the weather conditions. It could be more or less. To get a better picture of the propagation of the ground wave one could buy GEO data and calculate the propagation loss. There are software packages with model calculations for ground waves.

The phase pattern of the signal needs more attention, because you're always measuring in the near field. For high frequencies reflection measurements this is less relevant, it especially applies to lower frequencies. You need some scan in the area to determine the near and far field. For this you could use simulations or a drone, provided the weather is bright. When sea path predictions are necessary, additional measurements over the sea could also be very useful.

For the definitive protocol the reviewers advise to use suitable directional antennas as interference sources might occur at 20 to 30 metres below the top of the turbine. Essential is to use a stable fixed position. For this purpose a drone is better than a balloon.

Reaction

The team clarifies that for the calibration the measurement method supposes the use of a test source: a calibrated transmitter independent of the environment or influence of the wind turbine. Without it it's not possible to calibrate the propagation or the antenna gains. Using a calibrated interference source the method becomes independent of the propagation path of a particular wind turbine location and it's applicable on any kind of wind turbine.

There are various options where to place the calibrated test source on the windturbine during an experiment with an actual wind turbine or during the monitoring of the windfarm. The right way to deploy the source is still part of the research. It might be a drone as well as a source on the nacelle. Further the project members consider to use an on/off calibration sequence of the test source, while assuming neither the soil nor the wind turbine will change significantly during the experiment

4: use vertical and more sensitive antennas to measure the low band

recommends vertical and more sensitive antennas to measure the low band from 30 to 50 MHz.

Reaction

If the experiment with the drone shows the standard LOFAR antennas aren't sufficient the project will indeed consider to prescribe special antennas for the low band, and if vertical is not practical at least slant antennas will be recommended.

5: measure at night to reduce terrestrial noise

During the night there is less terrestrial noise under 50MHz.

Reaction

For this it's important to define actually the galactic day and night. It depends on the day of the year where the galactic centre is situated. The best time of day and year to measure will be described in the method.

6: be aware of changes in the wind speed and direction during measurement

points out that with measurements of wind turbines any change of wind has impact on the EM radiation of the wind turbine, because the whole 'machinery' adapts to it, e.g. the blades that act differently, the electrical load changes etc. For the measurement it's critical to be aware of these substantial effects.

Reaction

Important, will be taken into account in the description of the method.

7: measurements from (4) different directions might be necessary

recalls his experience that in order to characterise a wind turbine measurements from 4 directions towards the wind turbine might be necessary.

Reaction

The team agrees. Depending on the situation it might be possible to reduce this number by establishing the most critical direction(s) in a pre-check using dedicated sensitive measuring antennas. It is important to mention this in the preparatory stages of the measurement protocol.

F) Reviewers approval

I agree that this report is a correct rendition of the Preliminary Design Review session of the Measurement method for measuring the EM radiation of wind turbines in relation to the LOFAR radio telescope held in Amersfoort on May 11th 2017.

Place and date of signature

Place and date of signature

.....
For Fraunhofer Institute

.....
For TNO

.....
(.....)

.....
(.....)

Productie



Wetenschappelijke impact LOFAR

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

From: ! ((Director RadioObservatory)
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 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 gebruiken 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.

vorig jaar op de
Annual Low Frequency Science Conference in Albuquerque.

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



Analysis of a 30-250MHz commercially available discone antenna and partial comparison with the LOFAR LBA for the wind turbine measurement system

4-10-2017

As a candidate antenna for the wind turbine measurement system a discone is proposed as cost effective alternative to more expensive LPDA antennas. The discone has a reputation as an antenna with good performance at low elevation angles if properly designed and erected [1] [2]. The required frequency range for the antenna is based on the required measurement range of 30-240 MHz. Basically three types of discone antennas are available.

Full size: These are 2,7m high based on the lower frequency of 30 MHz. Prices are high

Medium size: these are small for the lowest frequencies and have a dimension of 1,5m high, no provisions for compensation of the impedance at the lower frequencies are taken. Prices are relatively low

Small size: these are small but have an additional vertical antenna for the lower frequencies, mainly to provide resonance at specific frequencies for transmit. Prices are relatively low.

An analysis is made of a small size commercially available antenna, it was expected that this antenna would perform as a simple vertical antenna for the frequency range 30-50 MHz based on the cone height of approx 180cm.

D130J Super Discone Antenna



Click image to enlarge.

The D130J Super Discone Antenna is an ultra-wideband antenna covering amateur radio, commercial 2-way, cellular, air traffic control and various utility frequency bands. Rust-free stainless steel is employed in major component parts making the antenna rust resistant and durable.

Special Features:

- Ultra-wideband design 25 to 1300 MHz receive, 50-1300 MHz transmit (6m tunable for transmit)
- Compact and lightweight design enables antenna to be installed on balcony railing at an apartment or condominium
- Ideal for 2m, 1-1/4m, 70cm, 33cm and 23cm amateur bands
- Excellent "shop" antenna for testing various transmitters on a single coax
- Can be made further compact and lightweight by removing the top loading coil if 25-50 MHz reception is not required

Specifications:

Bands:	25-1300 MHz
Gain dBi:	2 (nominal)
Max Power Rating:	144 MHz up: 200 watts 6m: 20 watts FM, 50 watts PEP
Height:	5.6'
Weight:	2.2 Lbs.
Connector:	UHF
Element Phasing:	Wideband Discone

Remarks: Adjustable 50-54 MHz. Also available with Type-N connector.

Figure 1: Specifications of the antenna

A model was made based on the model made by Dr. Carol F. Milazzo (KP4MD) [3], the antenna was elevated 2m above an average ground (feedpoint at 3m above ground) with a conductivity of 20mS/m and relative permittivity of 17

As can be seen in figure 2 the antenna does not perform well below 70MHz as predicted and has an intentional resonance at 50 MHz. The transition from vertical element to the cone section at 63MHz gives also a very strange impedance. The gain plot is made at peak gain at 73°, this is a limit of the used simulation tool which is not able to plot gain at an arbitrary elevation angle.

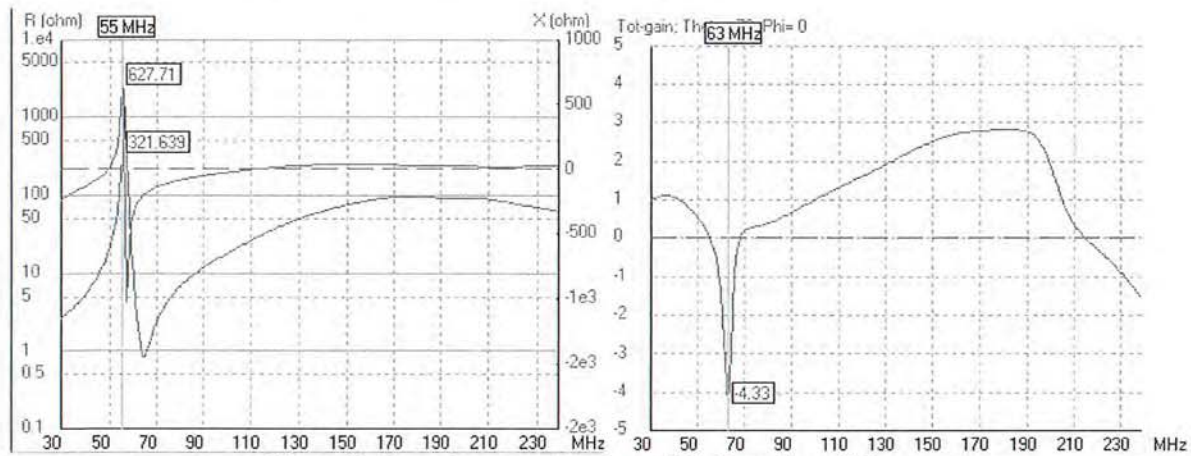


Figure 2: Impedance and gain at 73° elevation of the antenna

The antenna pattern starts to split at higher frequencies (more different lobes) as the antenna become relative long for the higher frequencies. A separate analysis may be needed for the low angle versus average sky coverage for the higher frequencies.

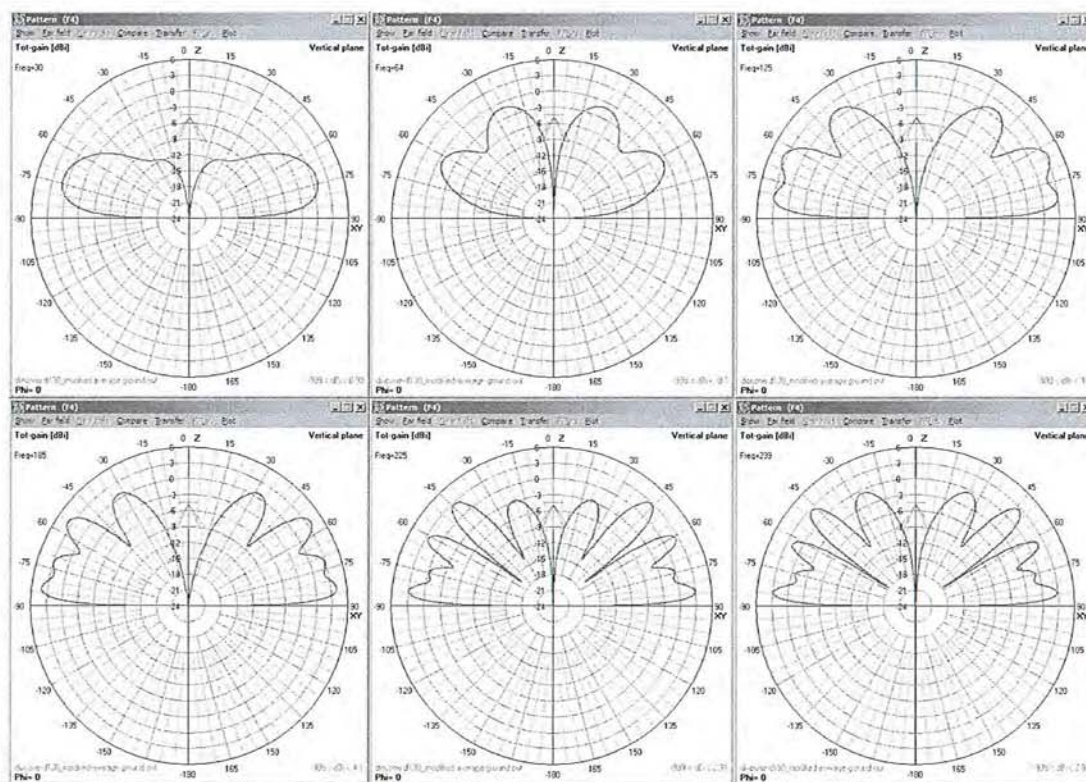


Figure 3: Pattern segmentation at different frequencies

The vertical gain at low angles however is ≈10dB better than the standard LOFAR antenna element. Table 1 shows the gain at 5° and 2,5° elevation angles for 30-240 MHz for both the discone and the LOFAR LBA antenna. There is a particular performance problem around 65 MHz as also visible in picture 2 of figure 3.

Frequency [MHz]	Gain at 5° elevation angle [dBi]		Gain at 2.5° elevation angle [dBi]	
	Discone	LBA	Discone	LBA
30	-3.45	-13.1	-8.02	-19
40	-2.63	-11.1	-7.18	-17
50	-2.25	-10.1	-6.73	-16
60	-2.9	-9.4	-7.28	-15.3
64	-13.5	-9.18	-18.4	-15.1
70	-2.91	-8.85	-7.04	-14.8
80	-1.12		-5.51	
90	-0.28		-4.6	
100	-0.41		-3.83	
110	-0.96		-3.22	
120	1.41		-2.69	
130	1.85		-2.17	
140	2.31		-1.62	
150	2.75		-1.09	
160	3.12		-0.62	
170	3.41		-0.24	
180	3.61		0.05	
190	3.48		-0.01	
200	2.1		-1.45	
210	1.92		-1.44	
220	2.63		-0.49	
230	2.87		-0.08	
240	2.79		-0.02	

Table 1: Gain at 5° and 2.5° elevation angles for different frequencies

Ground conductivity and permittivity has effect on the antenna pattern but not on the resonance effects. Figure 4 shows the pattern at 30,50, and 70 MHz for sand ($\rho=2$ mS/m and $\epsilon_r=10$), average soil ($\rho=20$ mS/m and $\epsilon_r=17$) and good conducting ($\rho=30$ mS/m and $\epsilon_r=20$) soils.

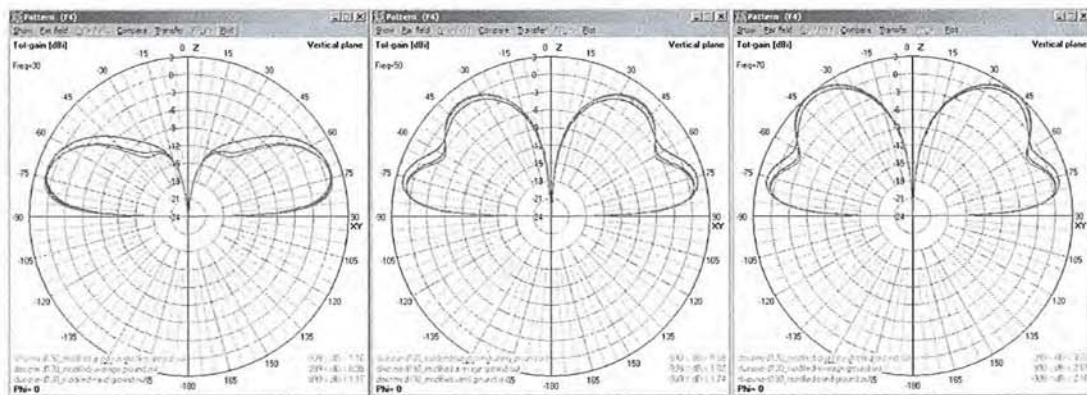


Figure 4: Patterns for sand, average soil and good conducting soil

References:

- 1 The ARRL antenna compendium volume 5 1996
- 2 L. B. Cebik Notes on HF Discone Antennas
- 3 <http://www.qsl.net/kp4md/modeling.htm>

Productie



Example sensitivity calculation of an antenna LNA cable and receiver combination for the wind turbine measurement system

This calculation is an example based on a typical receiver, the aaronia SPECTRAN HF-60100 V4 X. the Ettus research USRP should have similar specifications but reported specs were unclear at the time of writing. A critical note needs to be made about typical reported performance parameters, none of these have been verified through measurements at this time and there is an absolute need to do this before purchasing any hardware component quoted in this document or for any other hardware choice made..

The receiving chain consists of an antenna with a gain G_{sky} towards the sky and a gain G_{tur} towards the wind turbine. The sensitivity is not defined in terms of C/N of the signal to be measured but in terms of external noise limitations. The real sensitivity is achieved through processing as described in [1]. The limiting factor is the noise from the galaxy set at 200 K.

- This noise SIG_{wanted} results in a power spectral density of $KTb = -175.5 \text{ dBm/Hz}$
- 150m of RG-223 has an attenuation of 10dB/100m@50 MHz and 20dB/100m@250MHz. For each antenna a cable of 150m RG 223 is assumed the attenuation ATT_{cable} conservatively set at -20dB for the whole range.
- The noise floor FL_{rx} of the receiver is reported as -155dBm/Hz.

With these figures we can establish the gain of the preamp at $FL_{rx} - SIG_{wanted} - ATT_{cable} = 40.5 \text{ dB}$. The Noise figure of the whole system needs to be better than 10dB and is mainly determined by the noise figure of the preamp, setting the wanted preamp gain to 50dB.

Table 1 gives a few possible models for such a preamp from the mini circuits brand.

Model Number	Case Style	F Low (MHz)	F High (MHz)	Gain (dB) Typ.	Max Power Out @ 1 dB Comp. (dBm) Typ.	1/f (dB) Typ.	R/P (dBm) Typ.	Input VSWR (1) Typ.	Output VSWR (1) Typ.	DC Voltage (V)	DC Current (A)	Standard Connectors	Optional Connectors
ZFL-500+	Y490	0.25	500	20	9.0	5.3	18	1.9	1.9	15	0.080	SMA	BNC
ZFL-1000V12+	SS78	10	1000	25	23	9.8	38	2.8	2.5	15	0.320	SMA	-
ZFL-2-8	T34	10	1000	35	29	10	38	2.8	2.8	24	0.60	SMA	-
ZFL-2-12+	T34	10	1200	26	29	5.8	45	2.2	2.2	24	0.750	SMA	-

Model Number	Case Style	F Low (MHz)	F High (MHz)	Gain (dB) Typ.	Max Power Out @ 1 dB Comp. (dBm) Typ.	Max Power Out @ 3 dB Comp. (dBm) Typ.	Max. Input power (no damage) (dBm)	1/f (dB) Typ.	R/P (dBm) Typ.	Input VSWR (1) Typ.	Output VSWR (1) Typ.	DC Voltage (V)	Current (A)	Standard Connectors
ZHL-20W-13+	CP141	20	1000	58	41	43	-3	3.5	50	1.7	2.5	24	2.8	SMA
ZHL-20W-135W+	CP143	20	1000	50	41	43	-3	3.5	50	1.7	2.5	24	2.8	SMA

Table 1 examples of a few possible preamp models

The noise figure of two cascaded LNAs is calculated as $NF_{total} = (NF_1 + (NF_2 - 1)/G_1)$. With the gains considered the noise figure is mostly defined by the first LNA.

Assuming two Mini circuits ZHL-2-12+, LNAs with a gain of 26dB and noise figure of 5dB leads to a total gain of 52dB and a theoretical total noise figure of 5.01dB.

The IIP₃ is 19dBm which is likely to be sufficient for use without input filtering.

One item of concern are the mismatch losses between the antenna and the first preamp, this depends on the antenna chosen, for small antennas matching issues will mainly be present at the lower frequencies.

References:

1 Measurement method for measuring the EMI radiation of windturbines in relation to the LOFAR radiotelescope – V1.0, 2017

Cost calculation:

Total estimated price for two of these amplifiers	1500,- Euro.
Estimated price of one receiver	3000,- Euro
Estimated price for 150m RG 223	400,- Euro

Productie 

LOFAR core als meetinstrument?

Radio Observatory and R&D divisions
ASTRON, Dwingeloo, The Netherlands

July 20, 2018

