

GHMT[®]

Untersuchung von Störaussendungen einer Windenergieanlage zur Koordination mit dem Radioteleskop Effelsberg

Für Juwi AG

Projekt-Nr.: JUWWE0220

Dokument-Nr.: P7025a-21-D

Das vorliegende Dokument besteht aus 57 Seiten inklusive Deckblatt.

Ohne unsere schriftliche Genehmigung darf dieser Bericht nicht, auch nicht auszugsweise, vervielfältigt oder in anderer Weise dritten Personen zugänglich gemacht werden und auch nicht anderweitig missbräuchlich genutzt werden.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Änderungsverzeichnis.....	4
1 Allgemeine Angaben	5
1.1 Verfasser	5
1.1.1 Unternehmen	5
1.2 Ansprechpartner.....	5
1.2.1 Projektleiter	5
1.2.2 Durchführung	5
1.3 Auftraggeber	6
1.3.1 Unternehmen	6
1.3.2 Ansprechpartner.....	6
2 Ziel der Untersuchung	7
3 Messaufbau und Messverfahren.....	9
3.1 Prüfmittel	9
3.2 Messverfahren	9
4 Ergebnisse der Messungen	15
4.1 Auswahl der Messpunkte und Vorbereitung der Messung.....	15
4.2 Zenit-Messungen	18
4.3 Messungen der Windenergieanlage	20
4.3.1 Position der Antennen.....	20
4.3.2 Messungen bei ein- und ausgeschalteter Anlage in 135m Entfernung (ca. 175m bis zur Gondel).....	21
4.4 Analyse der Messergebnisse	30
5 Messungen innerhalb der Windenergieanlage.....	32
5.1 Messung mit vertikaler Polarisierung	33
5.2 Messung mit horizontaler Polarisierung.....	36
5.3 Messungen in der Gondel.....	39
6 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	42
6.1 406 MHz – 410 MHz.....	42
6.2 608 MHz – 614 MHz.....	43
6.3 1,400 – 1,427 GHz.....	44
6.4 1,6106 – 1,638 GHz und 1,660 – 1,670 GHz	44
6.5 1,718 – 1,7222 GHz.....	44
6.6 2,655 – 2,700 GHz.....	45
6.7 3,260 – 3,3425 GHz.....	45
6.8 4,900 – 5,000 GHz	45
7 Leistungswerte der Anlage.....	46
8 Fazit	47
8.1 Restrisiken	47

8.1.1	Vertikale Spalten in der geplanten Anlage	47
8.1.2	Unterschiedliche Leistung der Anlage während der Messungen	47
8.1.3	Keine Energie-Erzeugung während der Messung in der Gondel.....	47
8.1.4	Zusammenfassung der Rest-Risiken.....	47
8.2	Weitere Empfehlungen	48
8.2.2	Steuerrechner in der Gondel	48
8.2.3	Begleitung des Aufbaus der Anlage.....	48
9	Anhang 1: Aufbau des Turmes	49
10	Anhang 2: Zusätzliche Kalibrierung der Grenzwerte	50
11	Anhang 3: Daten der Antennen und Verstärker.....	54
11.1	Antenne 9120G (wird von 400 MHz bis 2000 MHz eingesetzt).....	54
11.2	Antenne 9120E (wird von 2000 MHz bis 5000 MHz eingesetzt).....	55
11.3	Low Noise Amplifier Mini-Circuit ZX60-P103LN+ (LNA1)	56
11.4	Low Noise Amplifier Mini-Circuit ZX60-83LN12+ (LNA2)	57

Verfahrensstand:
Offenlage gem. §§ 3 (2), 4 (2) BaugB

Änderungsverzeichnis

Dokument- Nummer	Datum	Inhalt/ Änderung
P7025a-21-D	25.10.2021	Ersterstellung

Bexbach, 25.10.2021

Verfasser:



i.A. _____

Viachaslau S H Y F R Y N
Head of Wireless Applications

Revision:



i.A. _____

Jens F A L L E R
EMC in Facilities

Verfahrensstand:
Offenlage gem. §§ 3 (2), 4 (2) BauGB

1 Allgemeine Angaben

1.1 Verfasser

1.1.1 Unternehmen

GHMT AG

In der Kolling 13

D-66450 Bexbach

Telefon: +49 6826 9228-0

Telefax: +49 6826 9228-290

E-Mail: info@ghmt.de

Internet: www.ghmt.de

1.2 Ansprechpartner

1.2.1 Projektleiter

Viachaslau Shyfryn

Telefon: +49 6826 9228-510

Mobil: +49 172 68992-81

E-Mail: shyfryn@ghmt.de

1.2.2 Durchführung

Viachaslau Shyfryn

Telefon: +49 6826 9228-510

Mobil: +49 172 68992-81

E-Mail: viachaslau.shyfryn@ghmt.de

Sassan Schäfer

Telefon: +49 6826 9228-519

E-Mail: Sassan.Schaefer@ghmt.de

1.3 Auftraggeber

1.3.1 Unternehmen

juwi Energieprojekte GmbH
Energie-Allee 1

55286 Wörrstadt

Telefon: +49 6732 96 57-0

Internet: www.juwi.de

1.3.2 Ansprechpartner

juwi AG

Herr Aleksey Atanasov

Energie-Allee 1
55286 Wörrstadt

Telefon: +49 6732 96 57-4026

Mobil: +49 173 66 97 084

E-Mail: atanasov@juwi.de

Internet: www.juwi.de

2 Ziel der Untersuchung

Am Standort Nürburgring sind 2 Windenergieanlagen (WEA) V136 der Fa. Vestas geplant. Die Nabenhöhe (NH) der Anlagen beträgt 149m, die Leistung liegt bei 4,2 MW. In der Eifel, in einer Entfernung von ca. 20km befindet sich das Radioteleskop Effelsberg des Max-Planck-Institutes mit einer parabolischen Antenne, mit ca. 100m Durchmesser. Das Radioteleskop ist ein extrem empfindlicher Funkempfänger, sodass sichergestellt werden muss, dass die möglichen Störaussendungen der geplanten Windenergieanlagen die Grenzwerte der ITU-R-Empfehlung RA 769 in den Frequenzbereichen der Radioastronomie einhalten. Das Ziel der Untersuchung besteht darin eine baugleiche Windenergieanlage auszumessen und festzustellen, ob die Grenzwerte der Störaussendung in den Frequenzbereichen der Radioastronomie eingehalten werden, um einen nachhaltig störungsfreien Betrieb des Radioteleskops zu gewährleisten.

Diese Untersuchung basiert auf der Studie der GHMT AG aus 2011 und 2017 (GHMT Berichte P2517b-11-D, P4560a-17-D), auf der Studie des Max-Planck-Instituts (MPI) zur Kompatibilität zwischen WEA und dem Radioteleskop vom 27.09.2016 sowie auf dem Messbericht G001/00339/15 der BNetzA „Messungen der Störemissionen von Windenergieanlagen zum Schutz von Radioteleskopen“.

Die geplanten Anlagen stellen eine Neuentwicklung dar, die zurzeit nur in begrenzter Zahl vorhanden sind. Es wurde gemeinsam mit dem Hersteller eine baugleiche Anlage am Standort Braderup in Nordfriesland ausgewählt. Bei dieser Anlage handelt es sich um den Typ V-136-4 mit einem 112m-hohen Stahlurm. Bei dieser Höhe werden alle Segmente der Stahlringe miteinander verschweißt.

Dies stellt den einzigen Unterschied zu den am Nürburgring geplanten Anlagen dar: Diese werden einen 149 m hohen Stahlurm besitzen, bei dem die Ringe der 2 unteren Sektionen mit einem vertikalen Flansch verbunden und verschraubt werden. Jeder Ring besteht aus 3 Teilen, so dass die Anlagen am Nürburgring drei sehr dünne, vertikal verlaufende, nicht verschweißte Spalte bis zu einer Höhe von ca. 55m aufweisen werden. Details sind im Anhang (Kapitel 9) dargestellt. Da die Anlagen mit einem entsprechend hohen Turm nicht verfügbar sind und die Spalte mit einem vertretbaren Aufwand z.B. mit einem Metallprofil geschlossen werden können, wurde entschieden die Messungen an diesem Standort durchzuführen.

Die Positionen der Anlagen sowie möglicher Störquellen (Mobilfunk Basisstationen) sind in nachfolgenden Abbildungen dargestellt.



Abbildung 2-1: Positionen WEA in Braderup

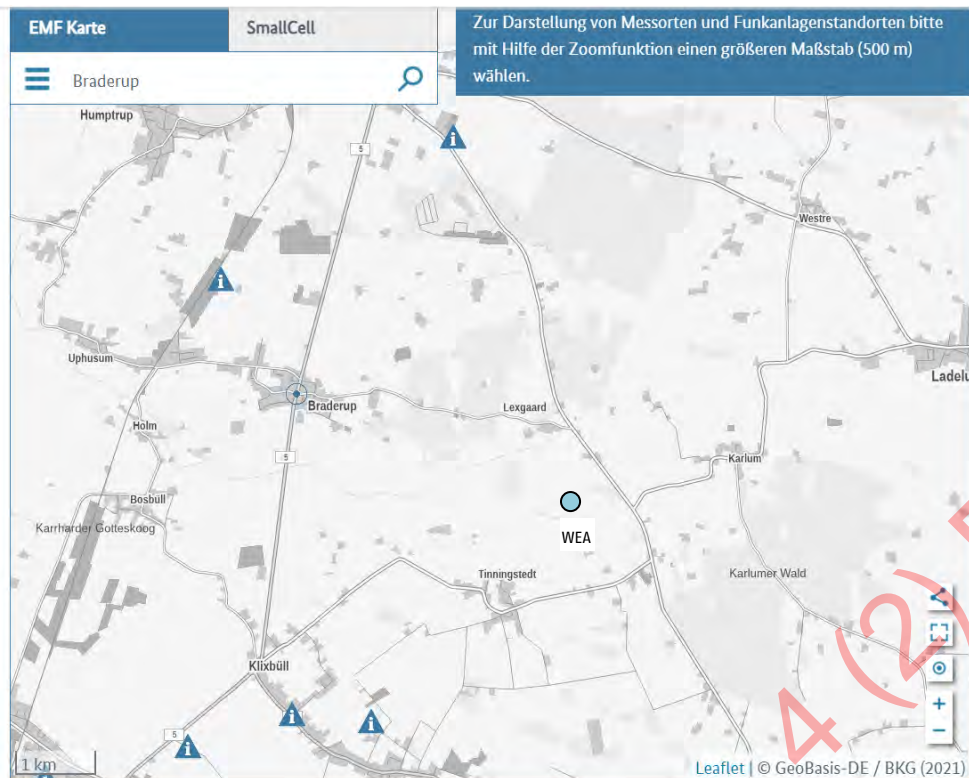


Abbildung 2-2: Positionen von nächst liegenden Mobilfunk BS

Wie der Abbildung zu entnehmen ist, befinden sich Mobilfunk-BS in einer Entfernung $>3\text{km}$. Des Weiteren konnten keine Hochspannungstrassen identifiziert werden. Die Ausrichtung der Antenne wurde so ausgewählt, dass diese sich in der Sichtweite befindlichen Windenergieanlage in der Rückkeule der Antenne liegen. Die nächste Großstadt Flensburg ist ca. 30km entfernt.



Abbildung 2-3: Entfernung zur nächstliegenden Großstadt

3 Messaufbau und Messverfahren

3.1 Prüfmittel

Gerät	Bezeichnung	Hersteller
Spektrumanalysator	FSV30	Rohde&Schwarz
Spektrumanalysator	FSH6	Rohde&Schwarz
Messantenne	K9120G (eingesetzt von 400MHz – 2 GHz)	Schwarzbeck
Messantenne	K9120E (eingesetzt von 2GHz – 5 GHz)	Schwarzbeck
Messantenne	HyperLog 3080 (eingesetzt in 400MHz – 5 GHz für mobile Messungen)	Aaronia
LNA1 Mini-Circuit	ZX60-P103LN+	Mini-Circuit
LNA2 Mini-Circuit	ZX60-83LN12+	Mini-Circuit
Messkabel	Test-Line 6m	Telegärtner

Tabelle 3-1: Prüfmittel

3.2 Messverfahren

Das Messkonzept wird auf den Ergebnissen aus 2011 und 2017 aufgebaut und ist nachfolgend beschrieben.

Die Messungen werden von 2 Seiten der Anlage durchgeführt (vor der Tür und an der gegenüber liegenden Seite mit Massivwand). Dabei werden alle Mobiltelefone ausgeschaltet und die Stromversorgung der Messgeräte erfolgt über einen Stromgenerator. Der Stromgenerator wird mit zwei Kabeltrommeln in ca. 90m Entfernung von der Antenne aufgestellt, so dass sich dieser in der Rückkeule der Antennen befindet und dadurch eine zusätzliche Dämpfung von 15 dB...25 dB entsteht.

Um die bestmögliche Empfindlichkeit des Messsystems zu erreichen, werden stark gerichtete Messantennen mit einem sehr guten Antennenfaktor eingesetzt. Die Daten der Messantenne sind im Anhang 3 zu finden. Des Weiteren werden Vorverstärker mit einer sehr geringen Rauschzahl eingesetzt.

Um die Aussendung der gesamten WEA aufzunehmen, muss die Messung in einem größeren Abstand erfolgen. Zum Erreichen der besten Empfindlichkeit werden 2 Hornantennen eingesetzt: im Frequenzbereich 408 MHz – 1720 MHz die Antenne Schwarzbeck 9120g und im Frequenzbereich 2,695 MHz – 5000 MHz die Antenne Schwarzbeck 9120e. Der 3dB Öffnungswinkel der Antenne 9120g liegt bei ca. 45° und der Öffnungswinkel der Antenne 9120e bei ca. 25°-30°. Die Nabenhöhe der Anlage beträgt ca. 112m. Um die gesamte Anlage zu erfassen, ist erforderlich, mit der Antenne 9120e 2 Messungen mit Neigungswinkel von 32° und 10° in einer Entfernung von ca. 135m von der Anlage durchzuführen. Für die Antenne 9120g ist eine Messung in dieser Entfernung ausreichend. Dadurch ergibt sich eine Entfernung von 175m zur Gondel und 135m zur Tür der Anlage.

Der Messaufbau und die dafür einzusetzenden Geräte sind in nachfolgender Abbildung dargestellt. Die technischen Daten sind im Anhang 3 aufgeführt.

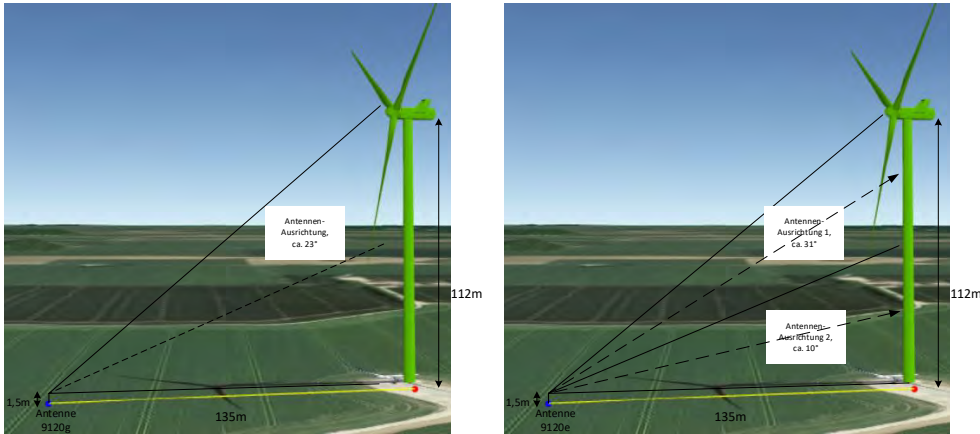


Abbildung 3-1: Messaufbau mit Antennen 9120g (links) und 9120e (rechts)

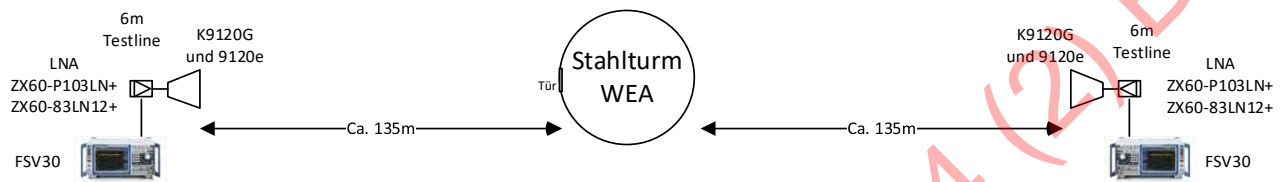


Abbildung 3-2: Messaufbau

Es werden die gleichen Frequenzbereiche wie im Jahr 2011 und 2017 untersucht:

- 0,406-0,410 GHz (informativ),
- 0,608 - 0,614 GHz,
- 1,400 - 1,427 GHz,
- 1,6106 - 1,638 GHz,
- 1,660 - 1,670 GHz,
- 1,718 - 1,7222 GHz,
- 2,655 - 2,700 GHz,
- 3,260 - 3,3425 GHz
- 4,900 - 5,000 GHz

Für die oben aufgeführten Frequenzen wurden die LNA mit dem zum Einsatz geplanten Kabel kalibriert. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Frequenz, MHz	Gewinn LNA1+6m Testline-Kabel, dB	Gewinn LNA2+6m Testline-Kabel, dB	Testline-Kabel 6m, dB
408	20,4	20,2	-0,9
611	17,6	20,9	-1,3
1413	10,4	20,3	-1,7
1624	9,2	20,2	-2,0
1665	9,0	20,0	-2,0
1720	8,9	20,0	-2,0
2675	4,3	18,5	-2,8
3300		18,1	-3,3
4995		17,0	-3,7

Unter Verwendung der vorliegenden Informationen wurden Berechnungen der nachzuweisenden Feldstärken, bzw. der zu empfangenden Leistungen durchgeführt. Diese sind in nachfolgenden Tabellen aufgeführt.

Koordinaten Standort Nürb 01

Koordinaten: 6,928414

50,335138

Frequenz, MHz	Zulässige Leistungsdichte lt. RA.769, dBW/Hz	Path Loss, lt. P.452, dB	Zulässige EIRP einer WEA, (dBW/Hz)	Zulässige EIRP einer WEA (dBW/10kHz)	E in 175m, dBµV/10kHz/m	E in 10m, dBµV/10kHz/m	Ant. Faktor 9120G & 9120E, dB/m	LNA2 + 6m Testline Kabel, dB	P FSV30 für 175m, dBm/10kHz	P für 10m, dBm/10kHz
408	-269	133,5	-135,5	-95,5	-5,6	19,3	14	20,2	-106,4	-81,5
611	-270	138,7	-131,3	-91,3	-1,4	23,5	17	20,9	-104,5	-79,6
1413,5	-279	149,7	-129,3	-89,3	0,6	25,4	17,5	20,3	-103,6	-78,8
1610	-277	151,3	-125,7	-85,7	4,2	29,1	18,6	20,2	-101,2	-76,3
1665	-277	151,8	-125,2	-85,2	4,7	29,6	18,6	20	-100,9	-76,0
1720	-277	152,1	-124,9	-84,9	5,0	29,9	18,6	20	-100,6	-75,7
2695	-277	158,1	-118,9	-78,9	11,0	35,9	21	18,5	-98,5	-73,6
3300	-277	160,3	-116,7	-76,7	13,2	38,0	26	18,1	-101,7	-76,9
4995	-277	166,3	-110,7	-70,7	19,2	44,0	27	17	-97,8	-73,0

Koordinaten Standort Nürb 02

Koordinaten: 6,933722

50,335233

Frequenz, MHz	Zulässige Leistungsdichte lt. RA.769, dBW/Hz	Path Loss, lt. P.452, dB	Zulässige EIRP einer WEA, (eirp dBW/Hz)	Zulässige EIRP einer WEA (dBW/10kHz)	E in 175m, dBµV/10kHz/m	E in 10m, dBµV/10kHz/m	Ant. Faktor 9120G & 9120E, dB/m	LNA2 +10m H&S Kabel, m	P FSV30 für 175m, dBm/10kHz	P für 10m, dBm/10kHz
408	-269	133,4	-135,6	-95,6	-5,7	19,1	14	20,2	-106,5	-81,7
611	-270	138,6	-131,4	-91,4	-1,5	23,3	17	20,9	-104,6	-79,8
1413,5	-279	149,5	-129,5	-89,5	0,4	25,3	17,5	20,3	-103,8	-78,9
1610	-277	151,2	-125,8	-85,8	4,1	29,0	18,6	20,2	-101,3	-76,4
1665	-277	151,7	-125,3	-85,3	4,6	29,5	18,6	20	-101,0	-76,1
1720	-277	152,0	-125,0	-85,0	4,9	29,8	18,6	20	-100,7	-75,8
2695	-277	158,0	-119,0	-79,0	10,9	35,8	21	18,5	-98,6	-73,7
3300	-277	160,1	-116,9	-76,9	13,1	37,9	26	18,1	-101,8	-77,0
4995	-277	166,1	-110,9	-70,9	19,0	43,9	27	17	-98,0	-73,1

Frequenz, MHz	P am Antennenaustritt in 175m, dBm /10 kHz	P am Antennenaustritt in 10m, dBm /10 kHz	Thermisches Rauschen @290K, dBm/10kHz	Rauschzahl LNA2, dB	Reserve zum thermischen Rauschen für 175m, dB
408	-126,6	-101,7	-134	1,6	5,8
611	-125,4	-100,5		1,6	7,0
1413,5	-123,9	-99,1		1,4	8,7
1610	-121,4	-96,5		1,4	11,2
1665	-120,9	-96,0		1,4	11,7
1720	-120,6	-95,7		1,4	12,0
2695	-117,0	-92,1		1,5	15,5
3300	-119,8	-95,0		1,5	12,7
4995	-114,8	-90,0		1,6	17,6

Anmerkung: Um möglichen örtlichen Einflüssen entgegenzuwirken, wurden mehrere Antennen, LNAs und Kabel sowie 2 Spektrumanalysatoren eingesetzt, um Vor-Ort das bestmögliche Ergebnis zu erzielen. Ein Steuerrechner wurde nicht genutzt, da während der Messungen alle elektronischen Geräte bis auf die Spektrumanalysatoren zur Vermeidung möglicher Störeinflüsse abgeschaltet werden mussten. Aus diesem Grund wurde entschieden, keine Umwandlungsfaktoren einzustellen, sondern die Grenzwerte der zu empfangenden Leistung (Anzeige des Spektrumanalysators) zu berechnen und diese bei der Auswertung zu nutzen. Diese Grenzwerte sind in den oben dargestellten Tabellen bezogen auf den Frequenzbereich aufgeführt.

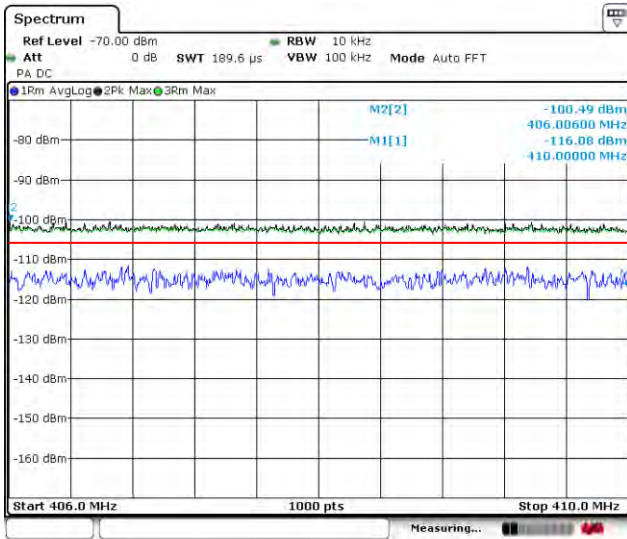
Gemäß den oben dargestellten Berechnungen liegen die nachzuweisenden Grenzwerte über dem thermischen Rauschen des Messsystems und können in Abwesenheit von externen Störsignalen mit dem vorbereiteten Mess-System auch ohne Integration nachgewiesen werden.

Zur Überprüfung wurde eine Messung mit dem Messsystem (LNA2 und Testline-Kabel mit einem 50 Ohm Abschluss am Eingang von LNA) durchgeführt, wie in nachfolgender Abbildung dargestellt ist.

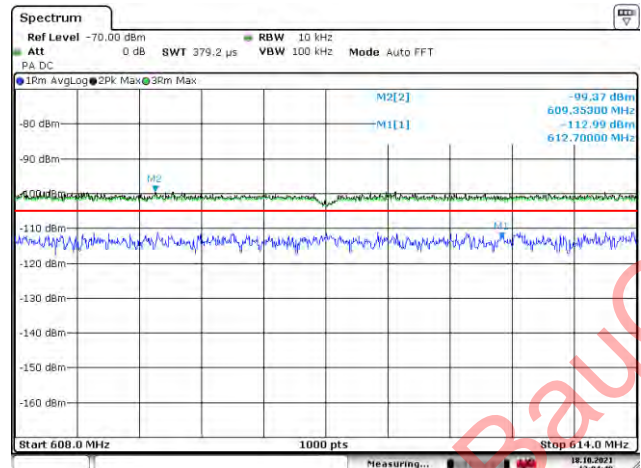


Abbildung 3-3: Kalibrierung des Messsystems

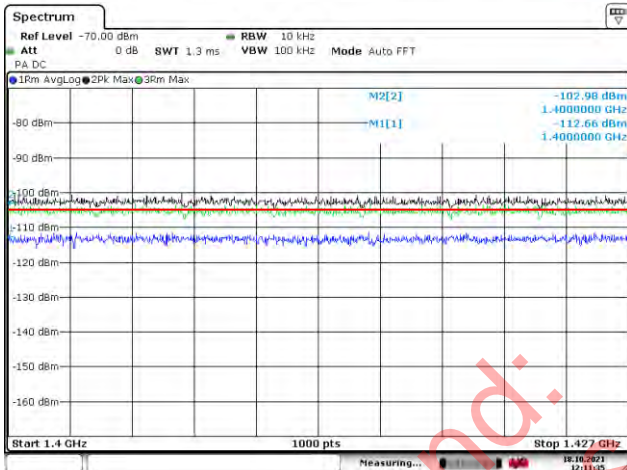
Mit dem Messsystem konnten Signale von bis zu -128dBm , die über das Kabel eingespeist wurden, nachgewiesen werden. Dies war ca. 8 dB besser als ohne LNA, was ungefähr den angegebenen Werten des Rauschfaktors entsprechen würde. In nachfolgenden Abbildungen ist Rausch-Anzeige des Messsystems dargestellt. Mit roten Linien sind nachzuweisende Grenzwerte je nach Frequenzbereich markiert.



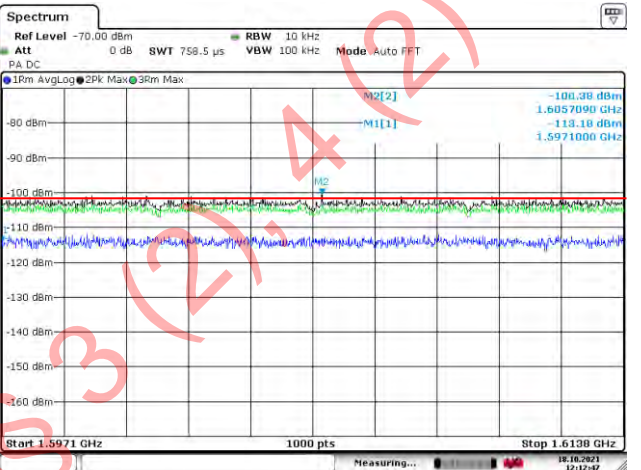
Date: 18.OCT.2021 12:10:14



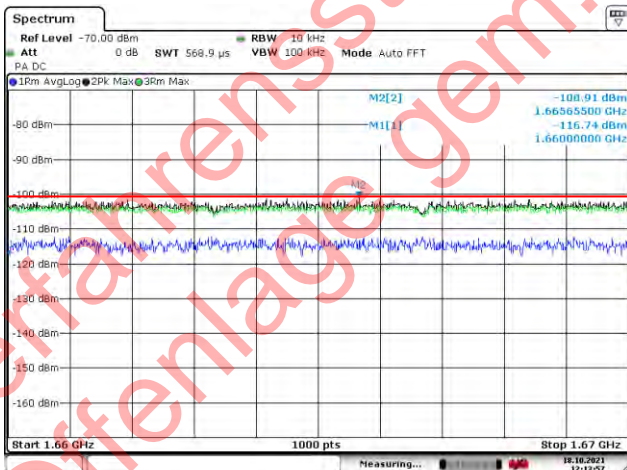
Date: 18.OCT.2021 12:04:49



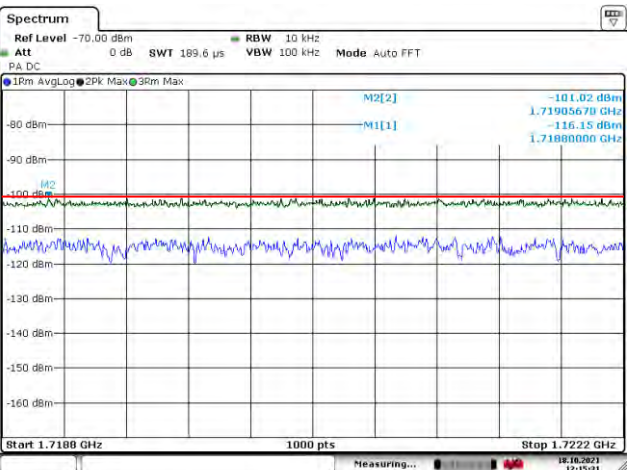
Date: 18.OCT.2021 12:11:06



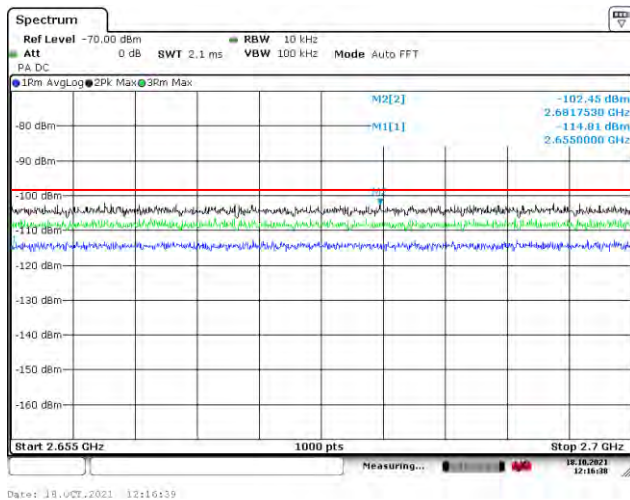
Date: 18.OCT.2021 12:12:48



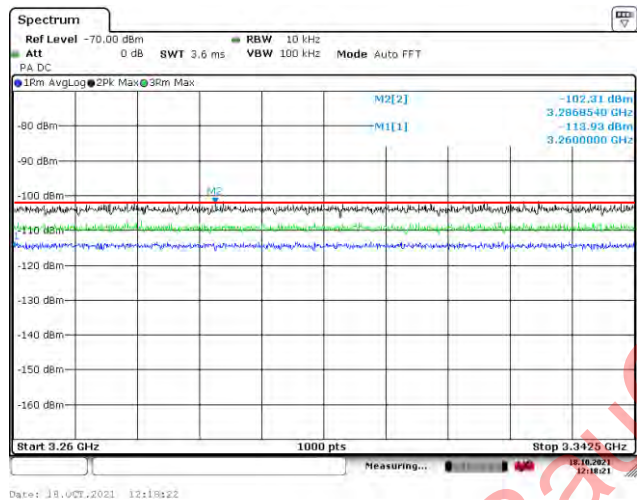
Date: 18.OCT.2021 12:13:59



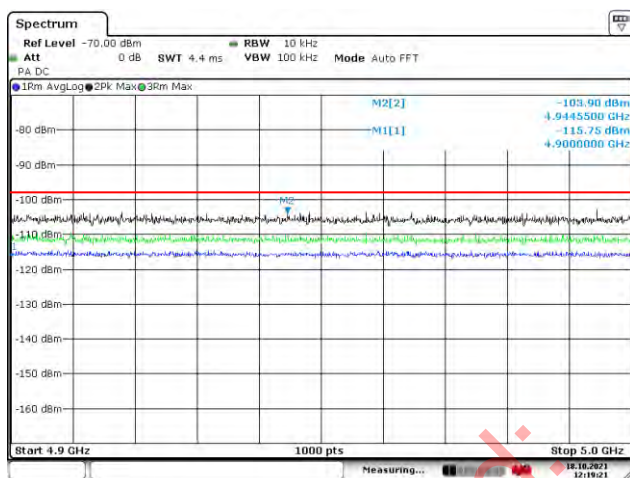
Date: 18.OCT.2021 12:15:32



Date: 18. OCT. 2021 12:16:39



Date: 18. OCT. 2021 12:18:22



Date: 18. OCT. 2021 12:19:21

Eine weitere Reserve der Messdynamik kann über die Integration der Ergebnisse über die Zeit und den Vergleich mit ausgeschalteter Anlage erreicht werden. Dafür wird die WEA komplett abgeschaltet (inkl. USV) und die Messwerte mit der aktiven und ausgeschalteten Anlage verglichen, bzw. Werte voneinander abgezogen.

Durch die geplante Integrationsdauer von 100s ist ein Gewinn der Messdynamik von 10 dB zu erwarten. Allerdings zeigen die Erfahrungen aus Holdorf (2017), dass das tatsächlich gemessene Rauschen ca. 20dB – 30 dB über dem thermischen Rauschen liegen kann. Einerseits war das auf den eingebauten Breitband-Vorverstärker von FSV30 mit einer Rauschzahl von ca. 10 dB und die verwendeten Antennen/Kabel zurückzuführen. Andererseits leisteten Störeinflüsse Vor-Ort einen Beitrag zum Erhöhen des Funkrauschens. Der aktuelle Messaufbau ermöglicht eine deutlich bessere Rauschzahl von ca. 1-2dB. Die Störeinflüsse Vor-Ort können jedoch auch bei diesem Messaufbau das Rauschen erhöhen und die Messdynamik reduzieren, so dass der gewünschte Grenzwert nicht nachgewiesen werden kann. Dies kann aber nur Vor-Ort ermittelt werden.

Die zum Zeitpunkt der Messung produzierte Leistung der Anlage wird durch Fa. Vestas ermittelt und in einer guten zeitlichen Auflösung zur Verfügung gestellt.

4 Ergebnisse der Messungen

4.1 Auswahl der Messpunkte und Vorbereitung der Messung

Als relevant wurde die Seite der Anlage mit der Tür, die horizontale Schlitz aufwies, identifiziert. Da sich in nördlicher und östlicher Richtung viele andere Windenergieanlagen und -Parks befanden, die nicht abgeschaltet werden konnten, wurde eine südliche Richtung für die Messungen ausgewählt, um die Signale der anderen Windenergieanlagen durch die Richtwirkung der Antennen zu unterdrücken.

In einem ersten Schritt wurde ein Rund-Scan durchgeführt, um die Richtung zu identifizieren, aus der möglichst wenig störende Funksignale ankommen. Es wurde die südöstliche Richtung als vielversprechend identifiziert: Während der Messung aus anderen Richtungen trat beim Spektrumanalysator eine Meldung der Überlastung der Zwischenfrequenzstufe, so dass der Rundscan mit einem Dämpfungsglied von 10 dB durchgeführt werden musste. Dadurch war die Messung an der anderen Seite der Anlage nicht sinnvoll, da die Störeinflüsse den Grenzwertnachweis verhindert hätten.

Die Messungen erfolgten mit der großen Horn-Antenne 9120G, LNA2, 6m Testline-Kabel und einem Dämpfungsglied von 10dB.

Der Lageplan ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

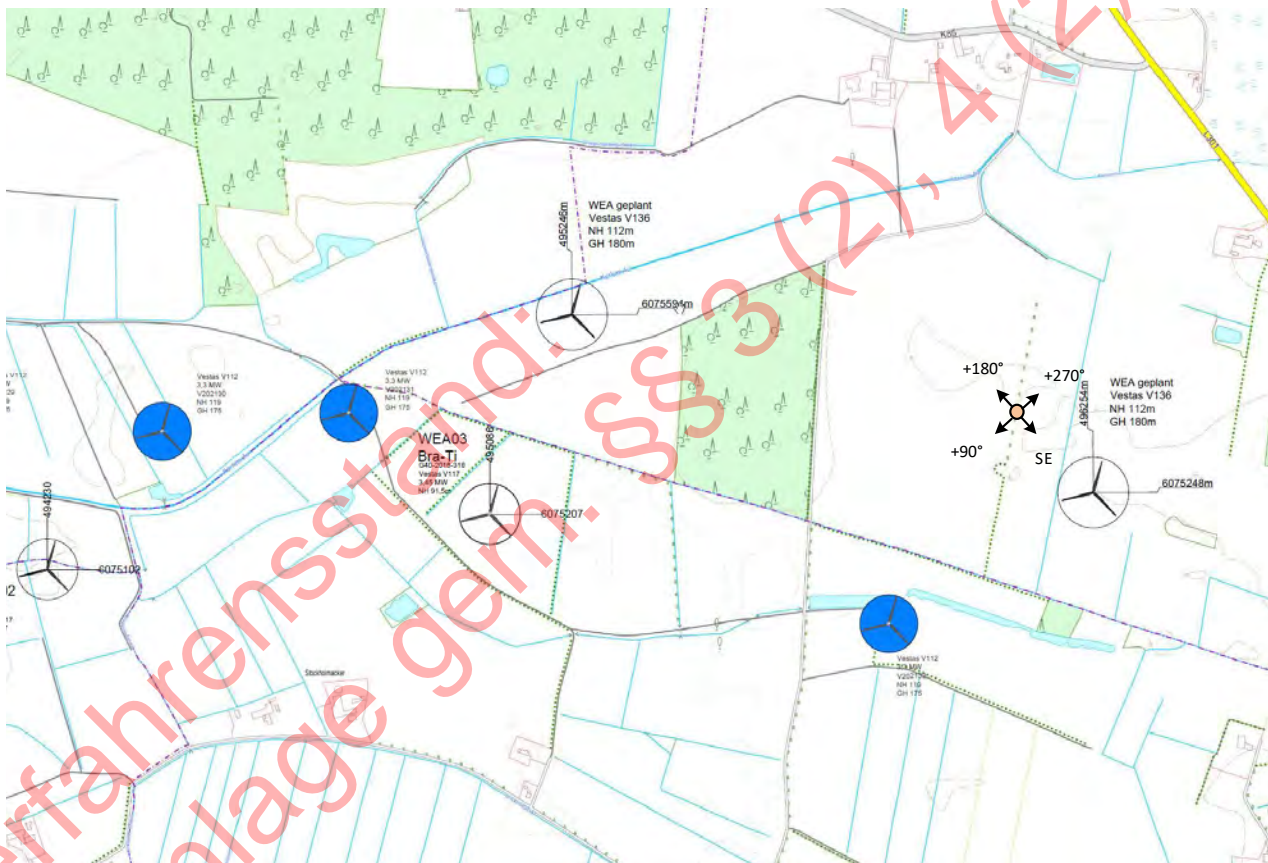


Abbildung 4-1: Position des Messpunktes

Die Ergebnisse sind in nachfolgenden Abbildungen dargestellt:

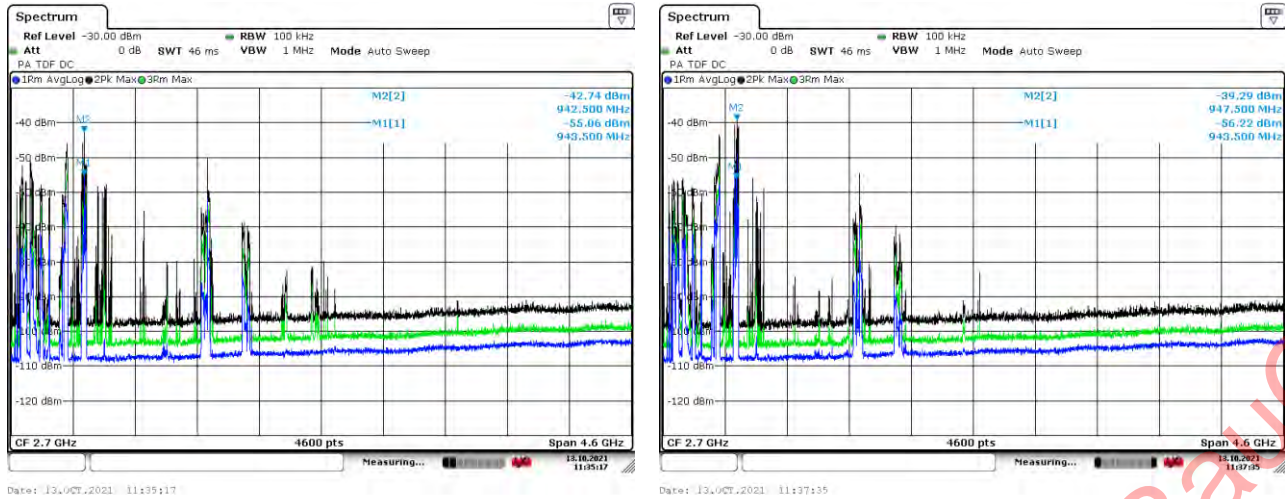


Abbildung 4-2: Frequenzspektrum 0,4GHz – 5GHz in Südost-Richtung (SE) (links) und SE+45° (rechts)

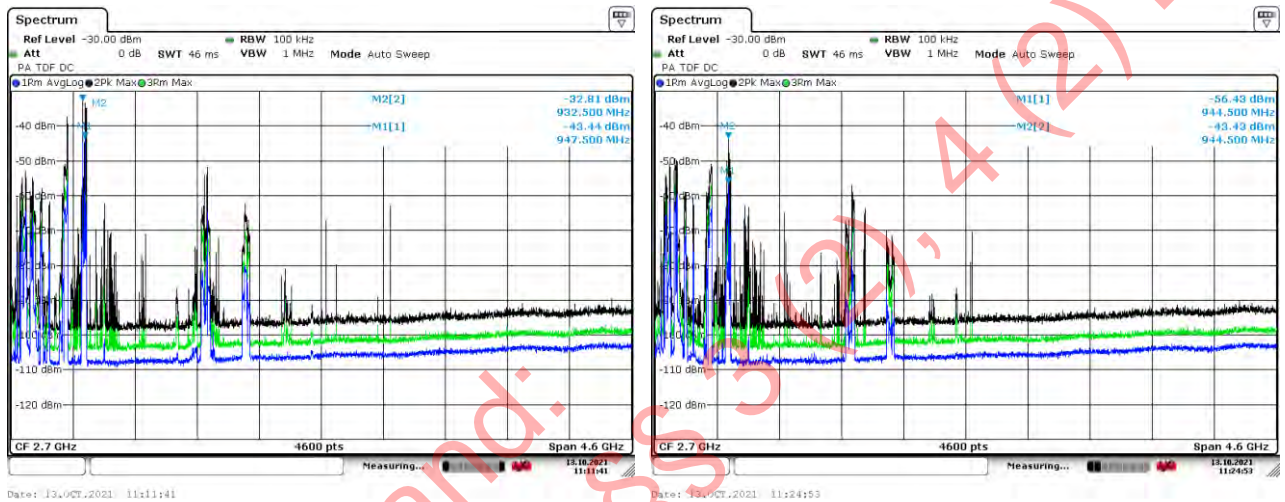


Abbildung 4-3: Frequenzspektrum 0,4GHz – 5GHz in Richtung SE+90° (links) und SE+135° (rechts)

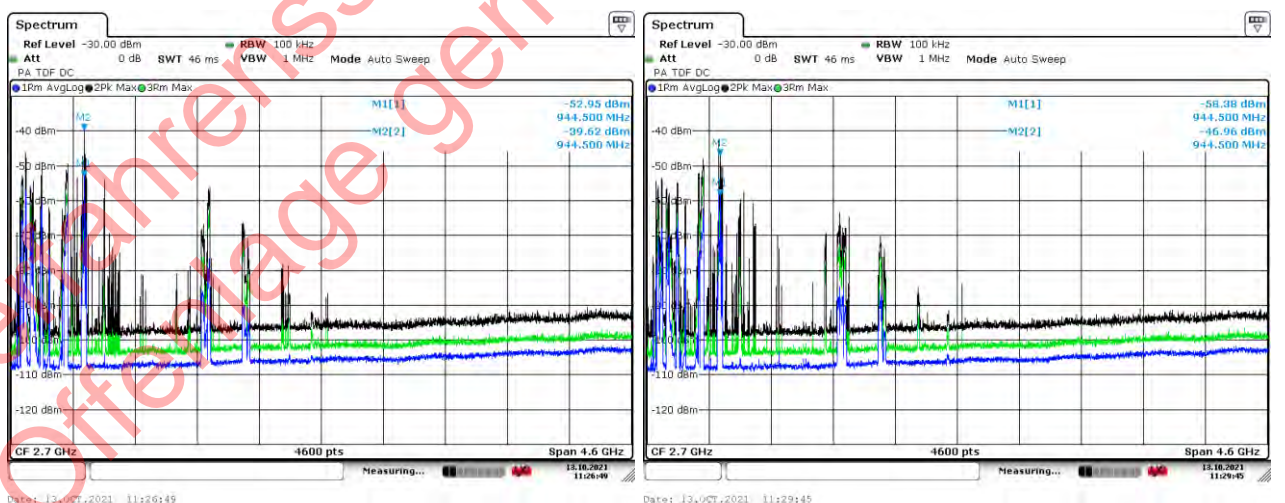


Abbildung 4-4: Frequenzspektrum 0,4GHz – 5GHz in Richtung SE+180° (links) und SE+225° (rechts)

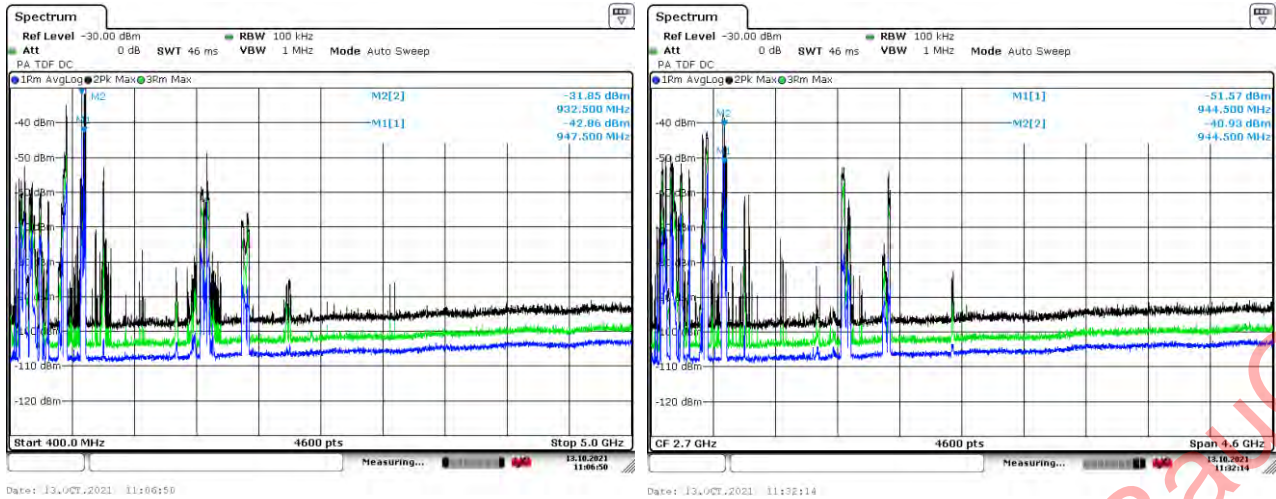


Abbildung 4-5: Frequenzspektrum 0,4GHz – 5GHz in Richtung SE+270° (links) und SE+315° (rechts)

Wie den Abbildungen zu entnehmen ist, sind am Standort viele Funksignale (Rundfunk, Fernsehen, Mobilfunk) vorhanden. Die Richtungen Süd-Ost (SE) und Süd-Ost+225° weisen die geringsten Pegel auf. Allerdings befanden in der Richtung SE+225° weitere Windenergieanlagen, so dass die Messungen in die SE Richtung durchgeführt wurden.

Die auszumessende Anlage ist in nachfolgenden Abbildungen dargestellt.



Abbildung 4-6: Auszumessende Windenergieanlage

In einem nächsten Schritt wurden Zenit-Messungen durchgeführt.

4.2 Zenit-Messungen

Bei den Zenit-Messungen handelt es sich um eine Messung, bei der die Antenne in den Himmel ausgerichtet wird. Dabei wird versucht über die Richtwirkung der Antenne die möglichen Signale von der Windenergieanlage sowie anderen Störquellen zu dämpfen und damit eine Referenz als bei ausgeschalteter Anlage zu bilden.



Abbildung 4-7: Position der Antenne bei der Zenit-Messung

Die Messergebnisse sind in nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

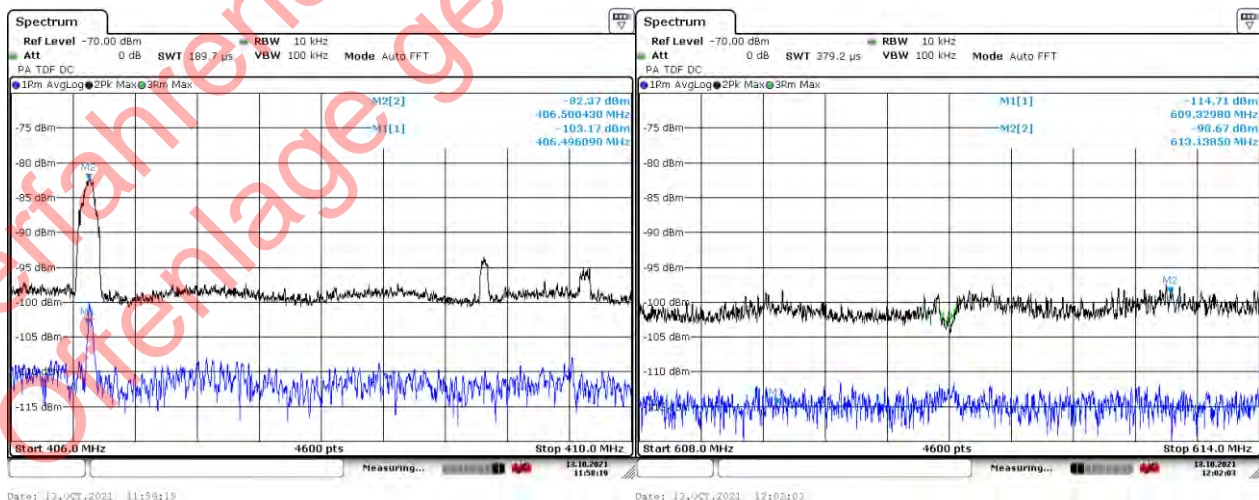


Abbildung 4-8: Ergebnisse der Zenit-Messungen für 408 MHz (links) und 611 MHz (rechts)

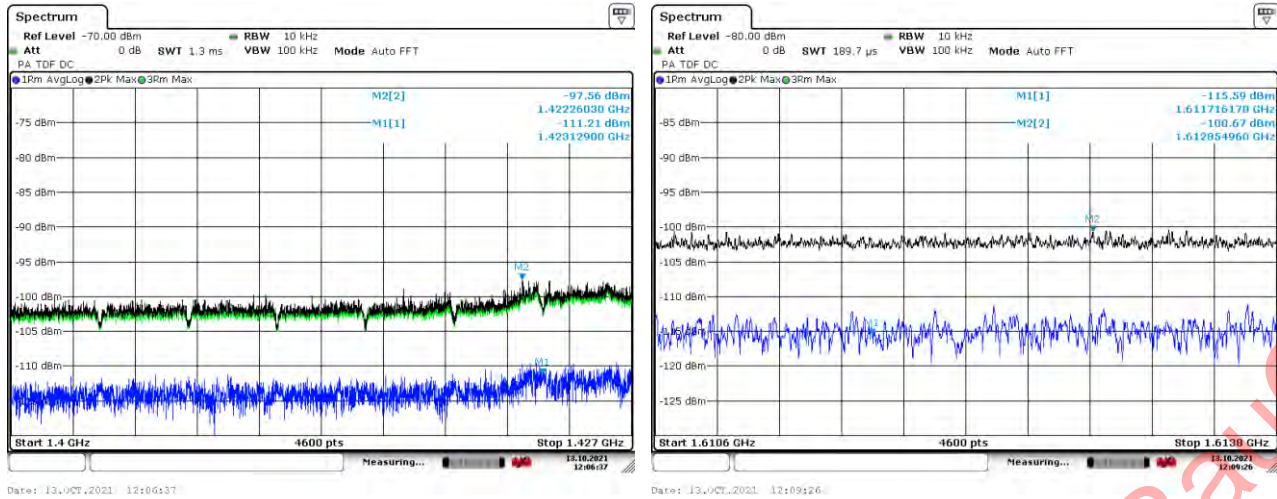


Abbildung 4-9: Ergebnisse der Zenit-Messungen für 1414 MHz (links) und 1612 MHz (rechts)

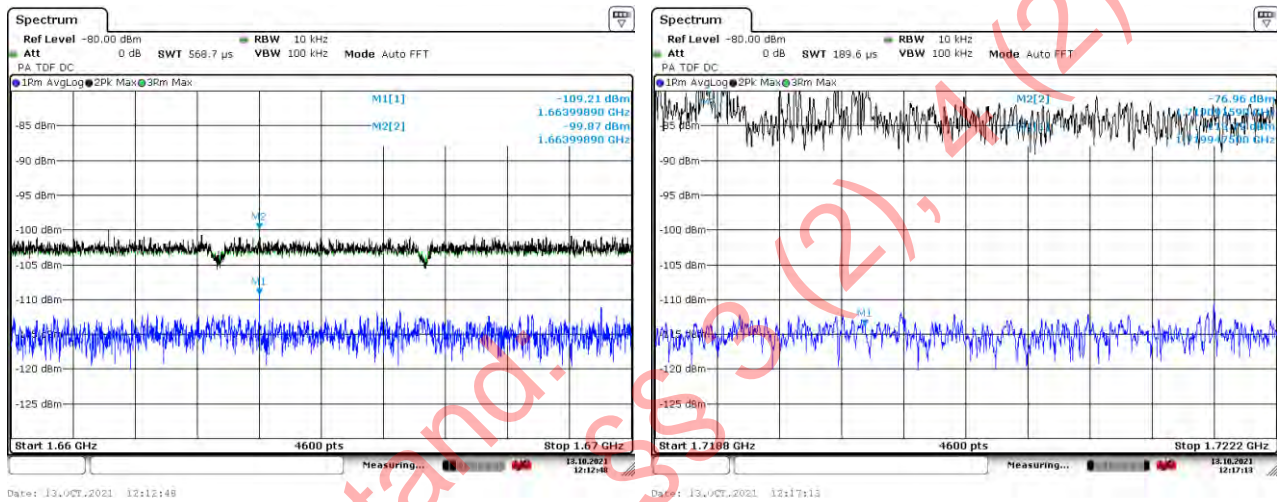


Abbildung 4-10: Ergebnisse der Zenit-Messungen für 1665 MHz (links) und 1720 MHz (rechts)

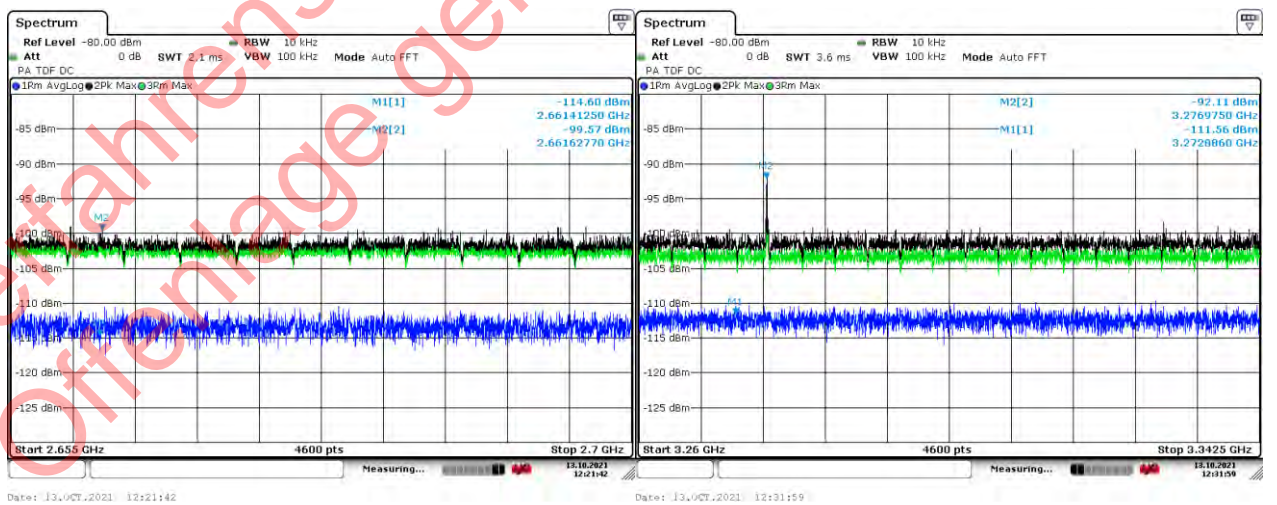


Abbildung 4-11: Ergebnisse der Zenit-Messungen für 2660 MHz (links) und 3270 MHz (rechts)

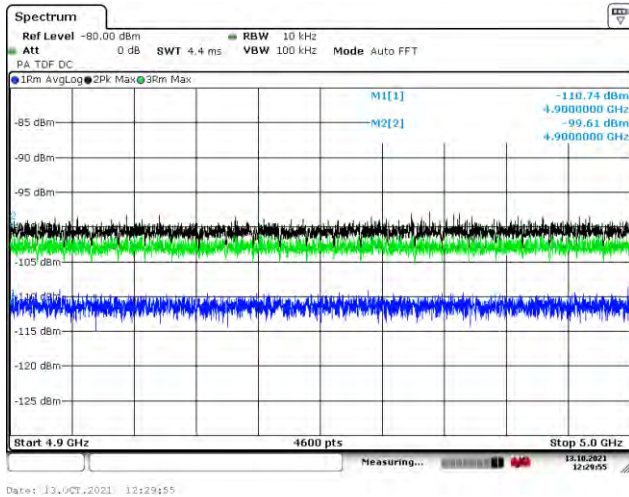


Abbildung 4-12 Ergebnisse der Zenit-Messungen für 4950 MHz

Wie den Ergebnissen zu entnehmen ist, sind bei allen Messungen konstante oder sporadische Einflüsse vorhanden, die über dem Eigenrauschen des Messsystems liegen. Bei 408 MHz wird ein Einfluss von TETRA vermutet, bei 611 MHz ein Einfluss eines DVB-Senders, der sich im benachbarten Frequenzbereich befindet. Es können jedoch nicht alle Einflüsse identifiziert werden. So ist die Zenit-Messung als Referenz für die Windenergieanlage nicht geeignet, da die Richtwirkung der eingesetzten Antenne voraussichtlich nicht ausreichend ist, um Störeinflüsse ausreichend zu unterdrücken.

4.3 Messungen der Windenergieanlage

4.3.1 Position der Antennen

Die Messantennen wurden an der in Abbildung 4-1 dargestellten Position aufgestellt und in südöstliche Richtung ausgerichtet.



Abbildung 4-13: Ausrichtung einer der beiden Antenne (9120G) auf die WEA

4.3.2 Messungen bei ein- und ausgeschalteter Anlage in 135m Entfernung (ca. 175m bis zur Gondel)

Die Messungen erfolgten nach dem Messverfahren des Kapitels 3.2. Zunächst wurde das Frequenzspektrum bei der eingeschalteten WEA in den relevanten Frequenzbereichen aufgenommen. Anschließend wurde die Anlage (inkl. aller mit USV abgesicherten IT-Einrichtungen) abgeschaltet. Dies wurde Vor-Ort kontrolliert. Danach wurde das Frequenzspektrum in den gleichen Frequenzbereichen aufgenommen.

Bei der Kontrolle der Messergebnisse ist aufgefallen, dass für die Messungen bei der eingeschalteten Anlage Transducer-Faktoren bis 30 MHz aktiviert waren. Diese hätten zwar keinen Einfluss auf die Messungen ab 400 MHz haben dürfen, es wurde jedoch ermittelt, dass diese doch die Anzeige verändern. Da es sich um einen konstanten Wert handelt wurde eine zusätzliche Kalibrierung und Anpassung der Grenzwerte für die Messungen bei der eingeschalteten Anlage durchgeführt. Um diesen Einfluss zu vermeiden, wurden die Messungen bei ausgeschalteten mit allen deaktivierten Transducern durchgeführt.

Der Vergleich der Anzeige sowie Ergebnisse der Kalibrierung sind im Kapitel 10 dargestellt. In nachfolgender Tabelle ist die Zusammenfassung der Ergebnisse und beide Grenzwerte dargestellt.

Frequenz, MHz	Korrekturfaktor, dB	P FSV30 für 175m, dBm/10kHz	Angepasster Wert, dBm / 10 kHz
408	2,4	-106,4	-104,0
611	3,1	-104,5	-101,4
1413	3,4	-103,6	-100,2
1624	3,0	-101,2	-98,2
1665	4,0	-100,9	-96,9
1720	3,7	-100,6	-96,8
2675	5,0	-98,5	-93,5
3300	5,2	-101,7	-96,6
4995	6,6	-97,8	-91,2

In nachfolgenden Kapiteln ist ein direkter Vergleich der Messergebnisse für vertikale und horizontale Polarisationen aufgeführt.

4.3.2.1 Messungen mit vertikaler Polarisation

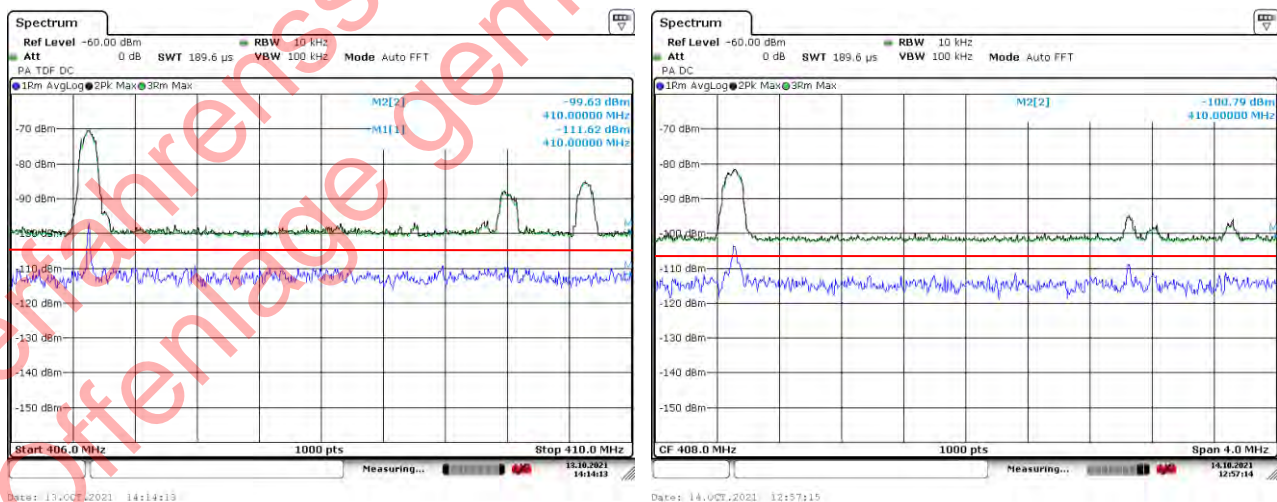


Abbildung 4-14: Ergebnisse der Messungen im 410 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

Einheitliche Legende:

- Blaue Linie: Average-Wert mit rms-Detektor
- Schwarze Linie: Max-Hold Wert mit Peak Detektor
- Grüne Linie: Max-Hold Wert mit rms-Detektor

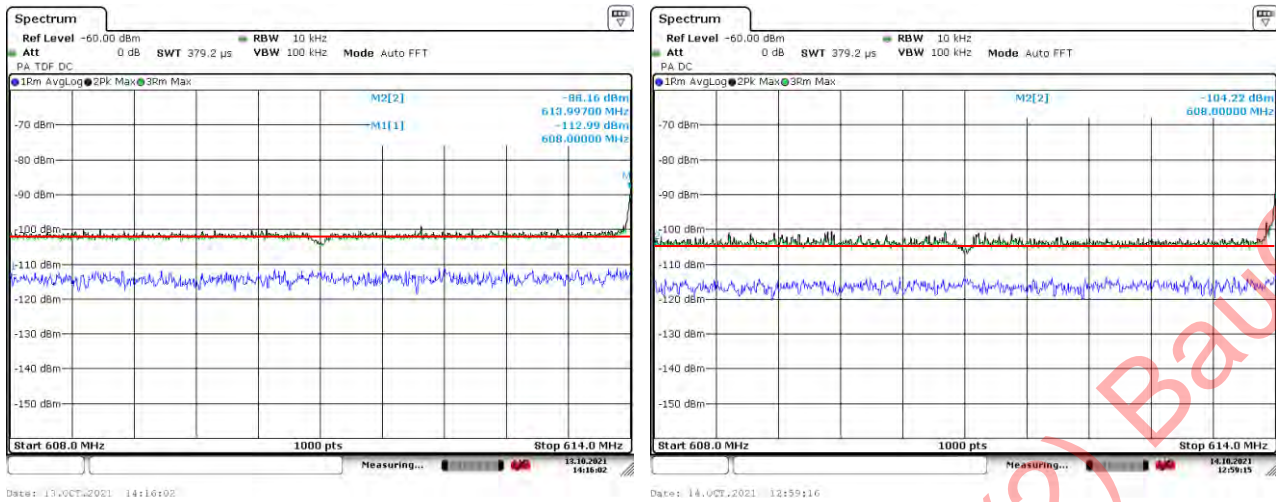


Abbildung 4-15: Ergebnisse der Messungen im 611 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

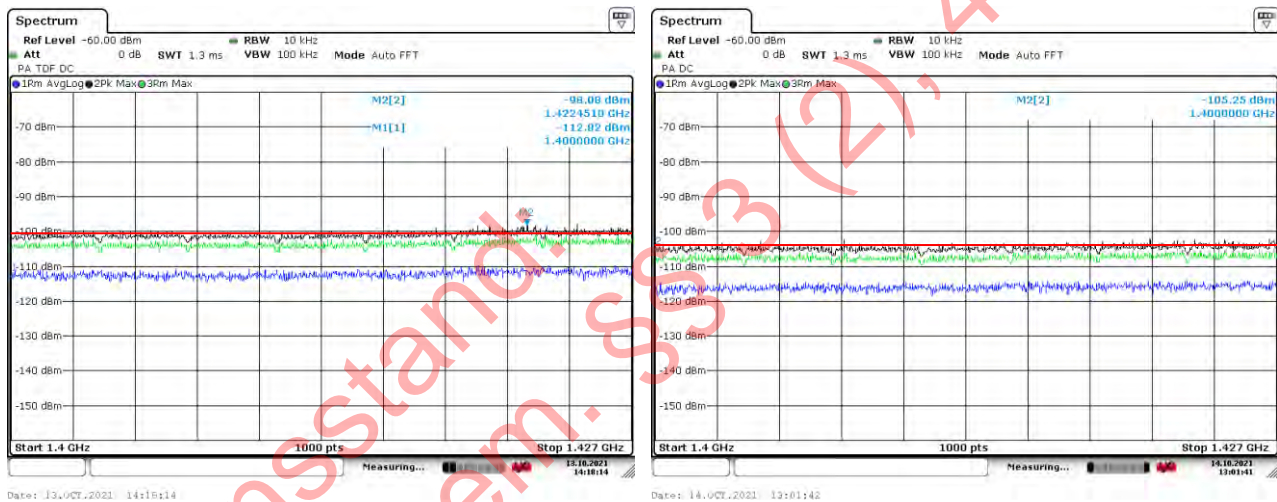


Abbildung 4-16: Ergebnisse der Messungen im 1413 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

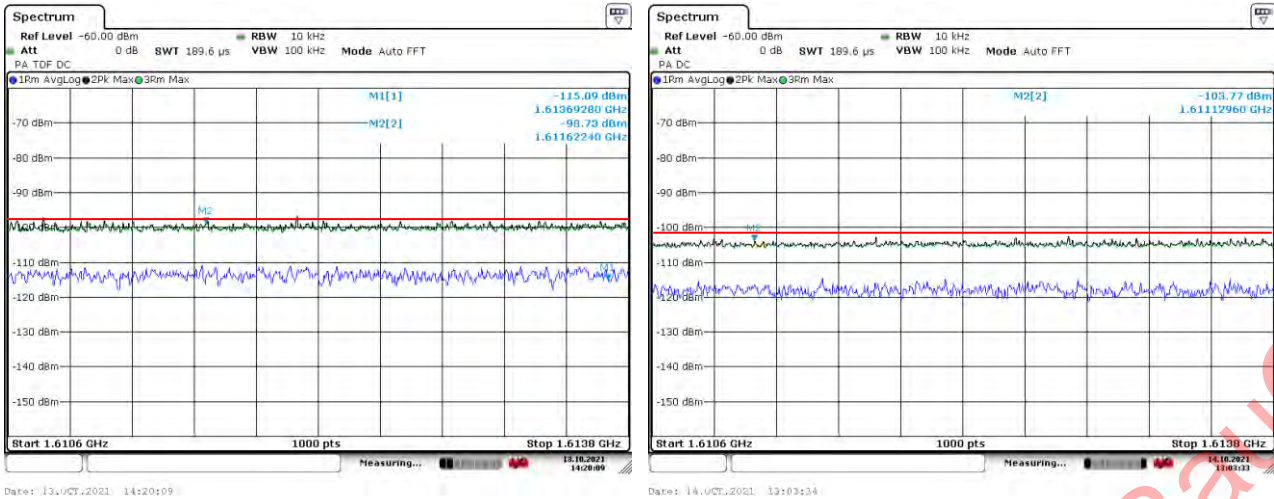


Abbildung 4-17: Ergebnisse der Messungen im 1611 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

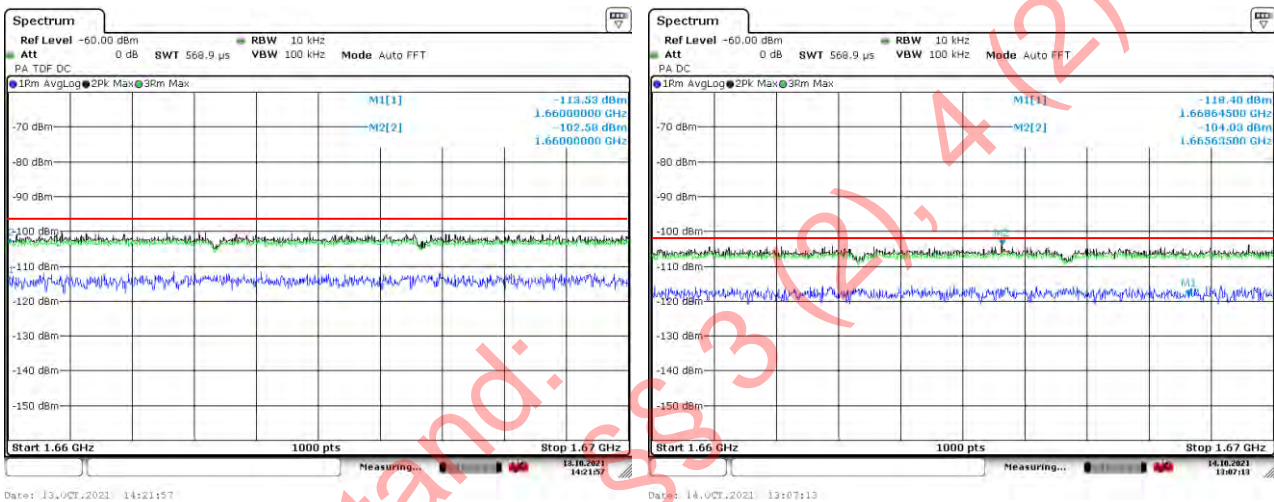


Abbildung 4-18: Ergebnisse der Messungen im 1670 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

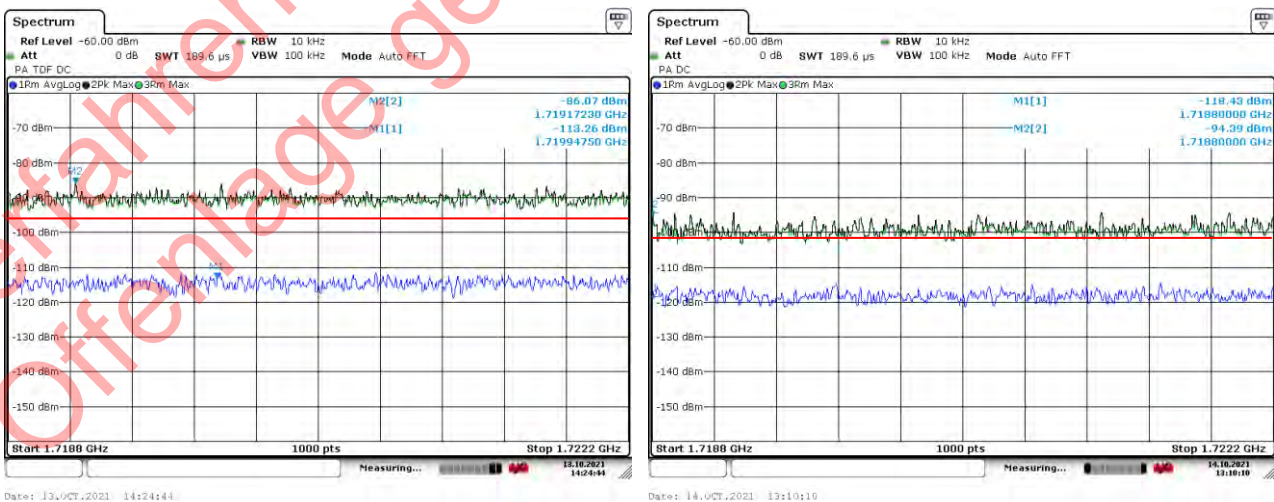


Abbildung 4-19: Ergebnisse der Messungen im 1720 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

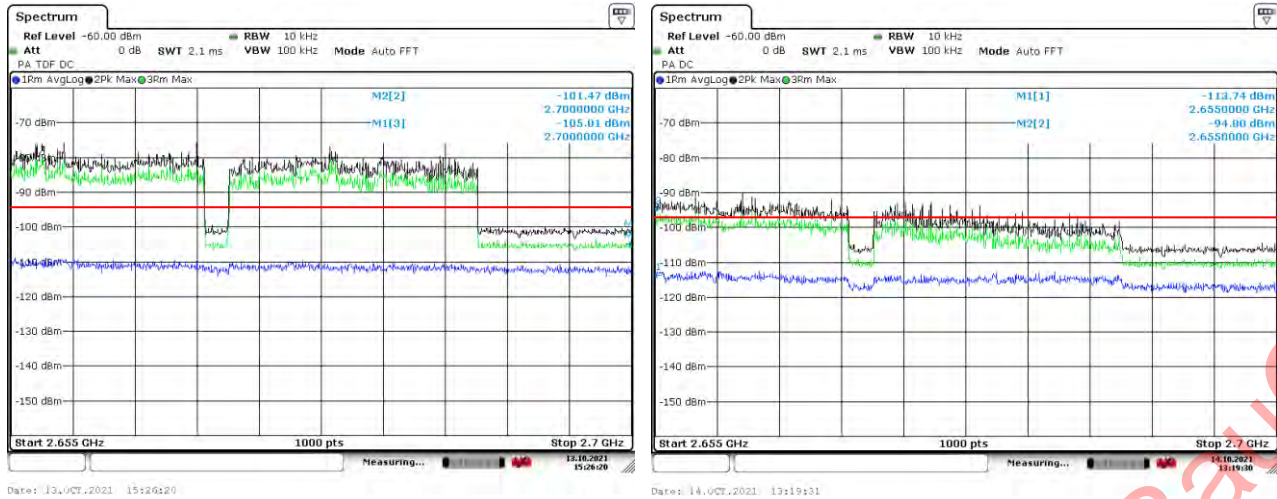


Abbildung 4-20: Ergebnisse der Messungen im 2675 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage und Ausrichtung auf Gondel

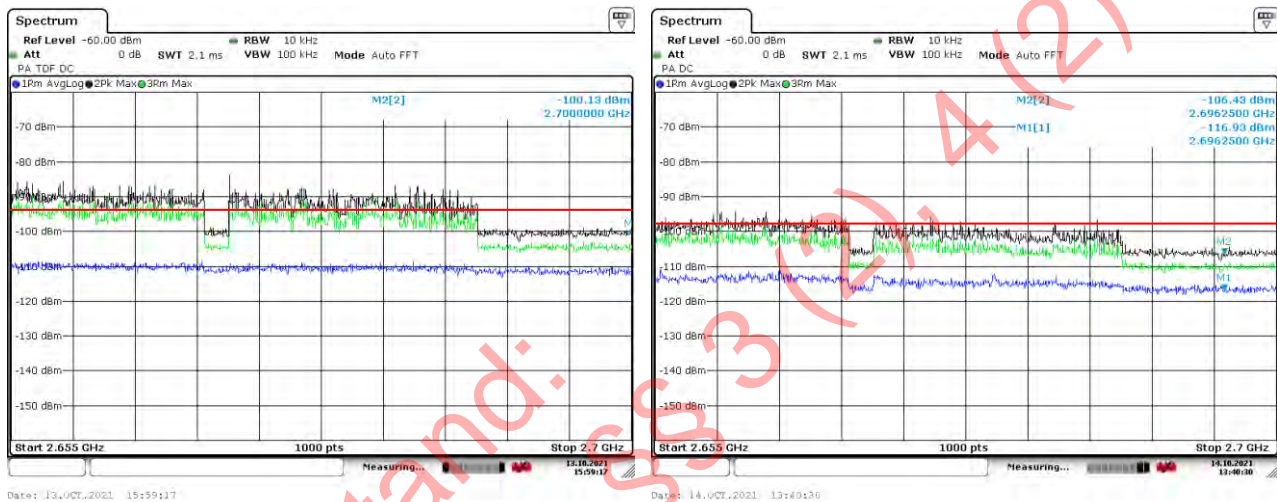


Abbildung 4-21: Ergebnisse der Messungen im 2675 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage und Ausrichtung auf Turm

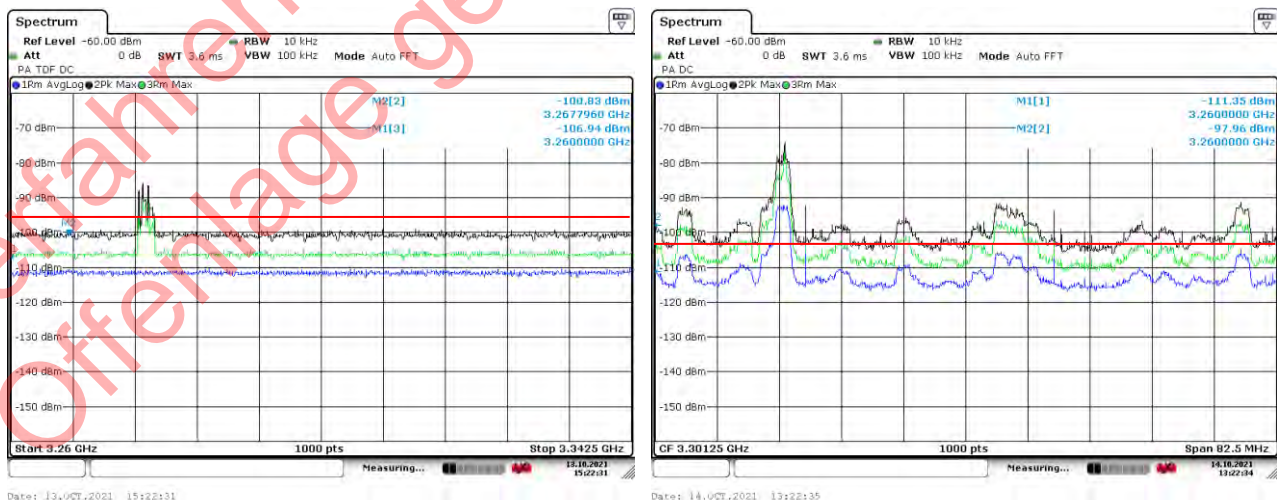


Abbildung 4-22: Ergebnisse der Messungen im 3300 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage und Ausrichtung auf Gondel

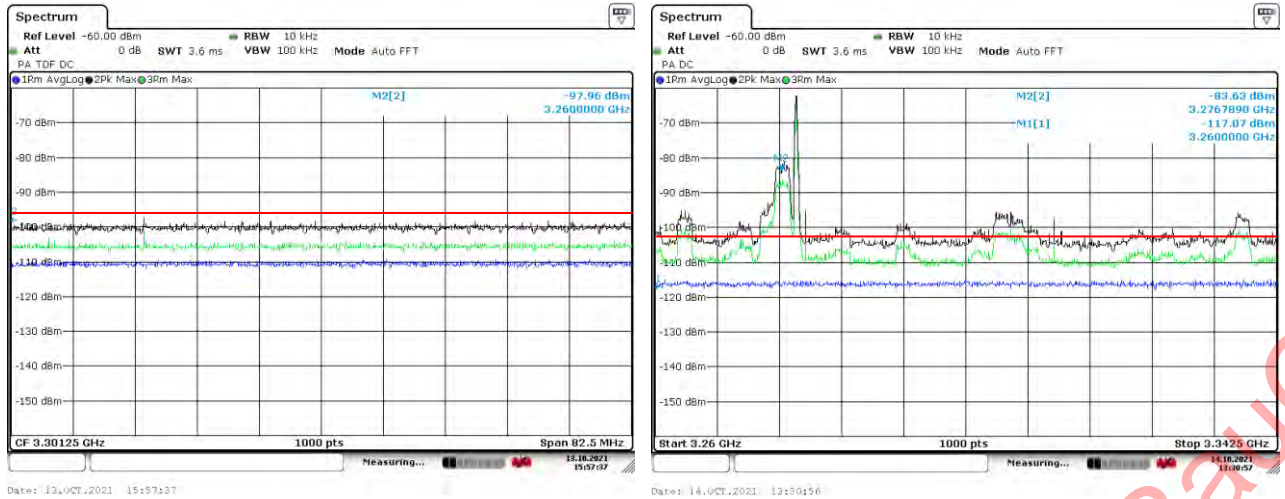


Abbildung 4-23: Ergebnisse der Messungen im 3300 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage und Ausrichtung auf Turm

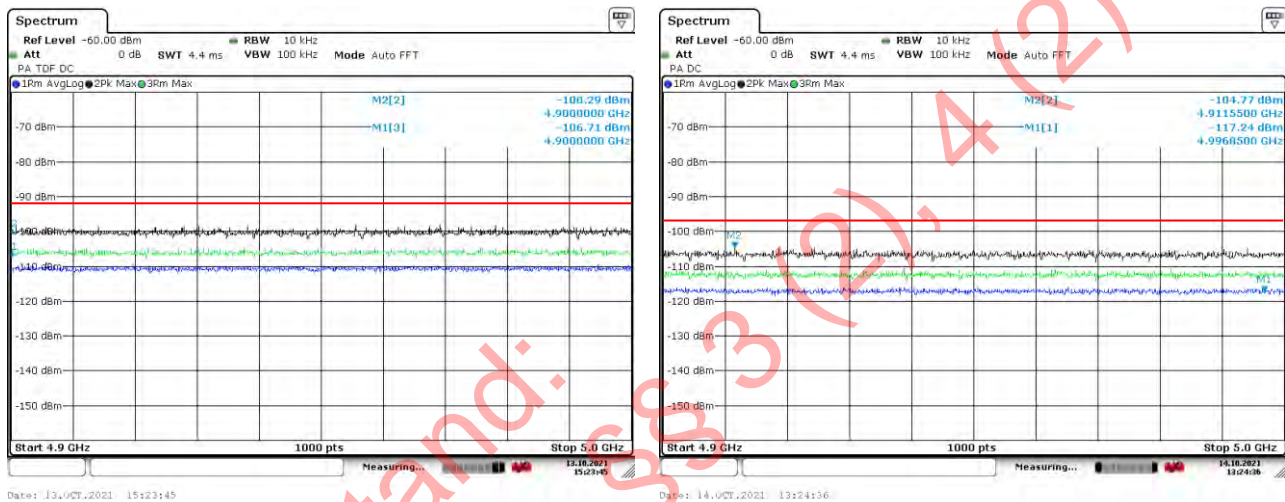


Abbildung 4-24: Ergebnisse der Messungen im 4950 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage und Ausrichtung auf Gondel

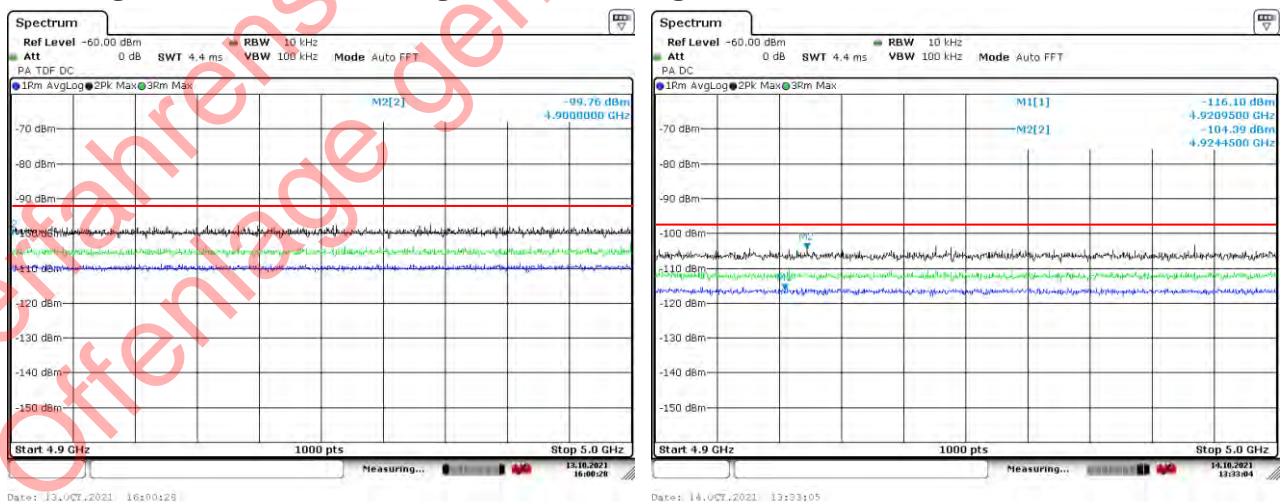


Abbildung 4-25: Ergebnisse der Messungen im 4950 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage und Ausrichtung auf Turm

4.3.2.2 Messungen mit horizontaler Polarisation

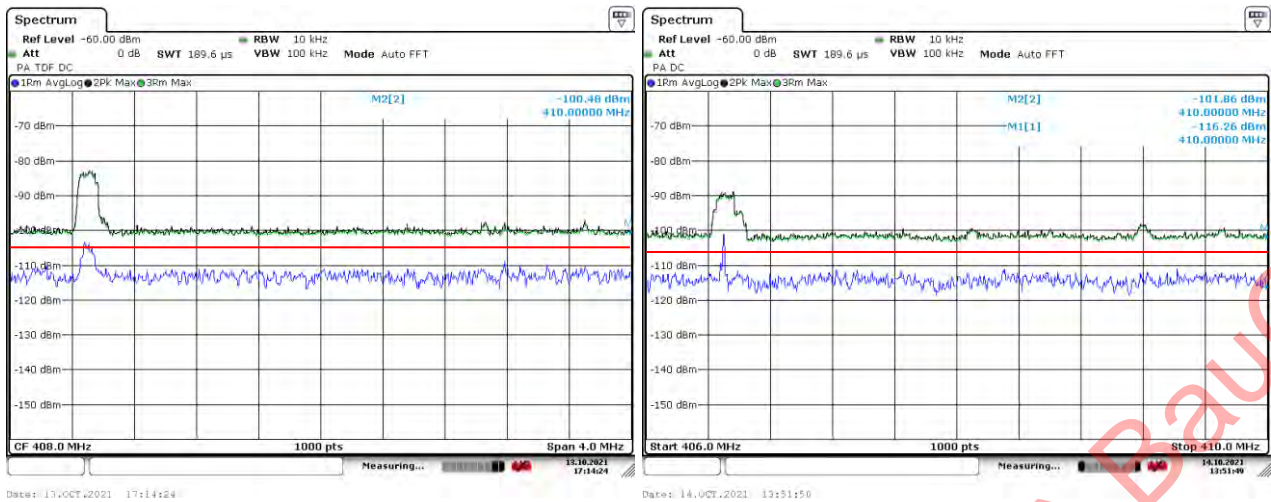


Abbildung 4-26: Ergebnisse der Messungen im 410 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

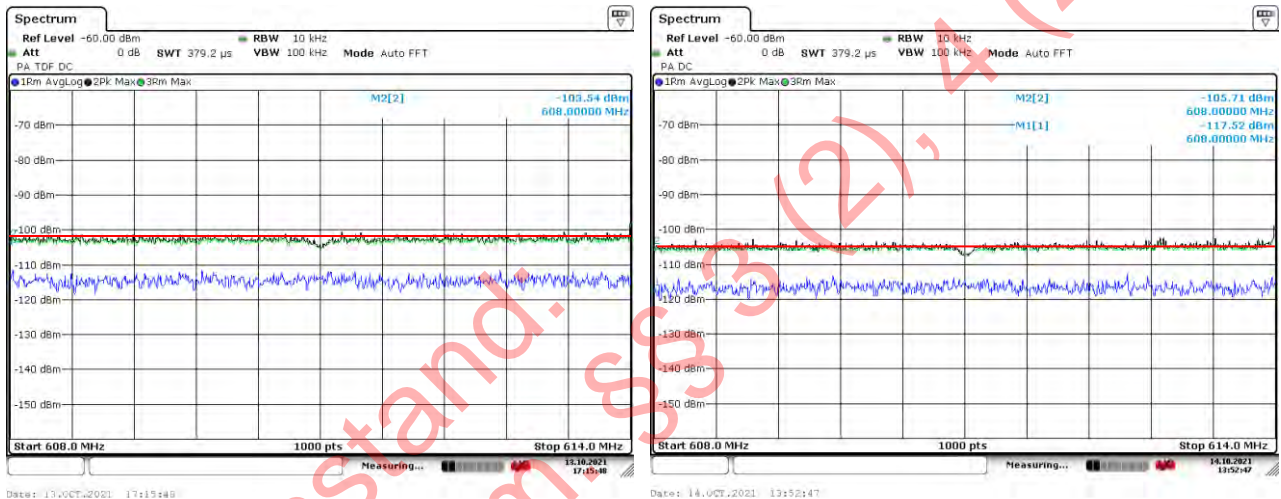


Abbildung 4-27: Ergebnisse der Messungen im 611 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

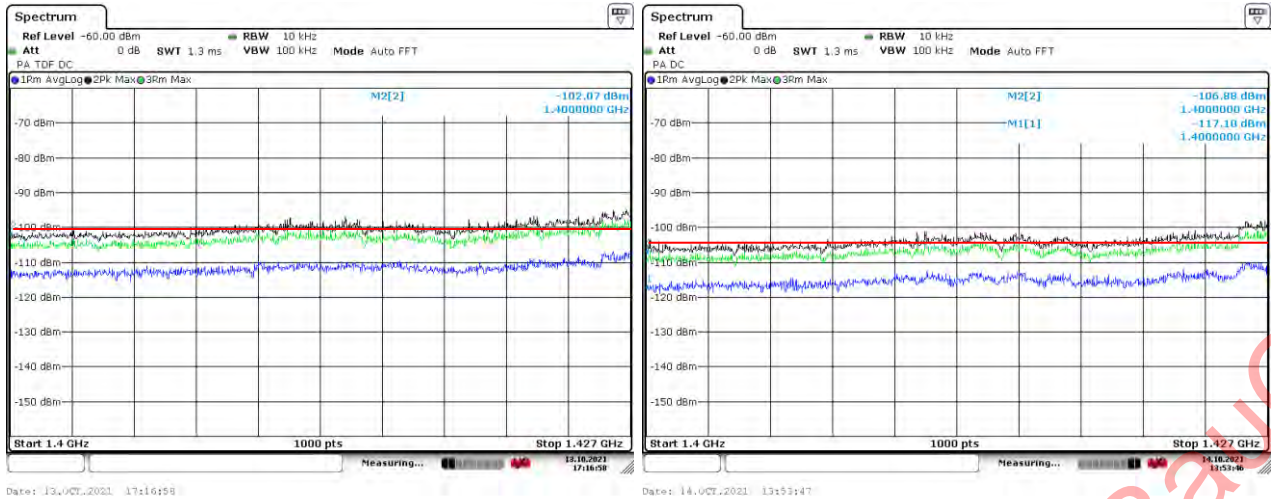


Abbildung 4-28: Ergebnisse der Messungen im 1413 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

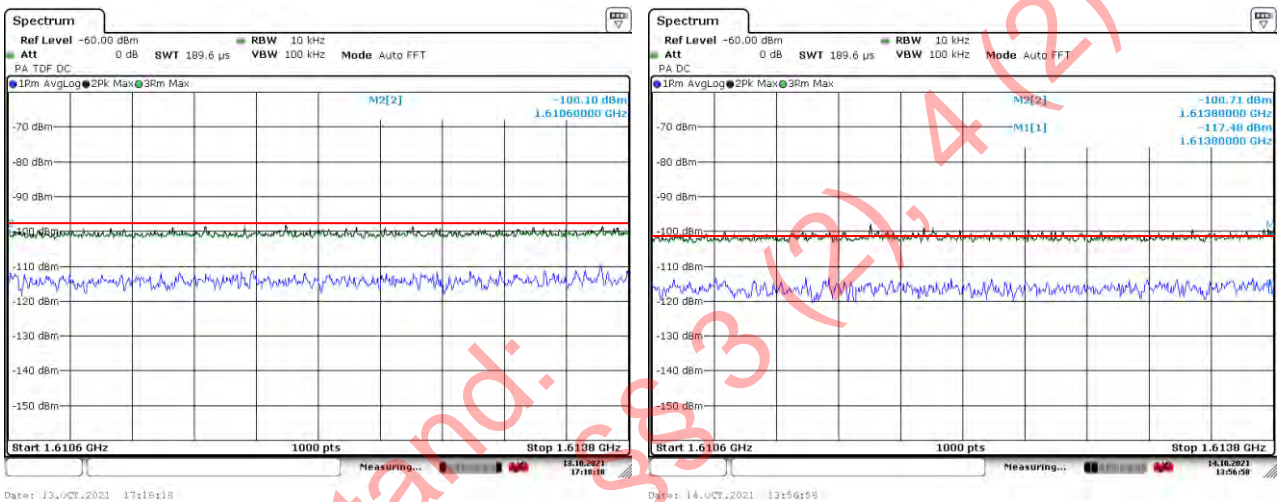


Abbildung 4-29: Ergebnisse der Messungen im 1611 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

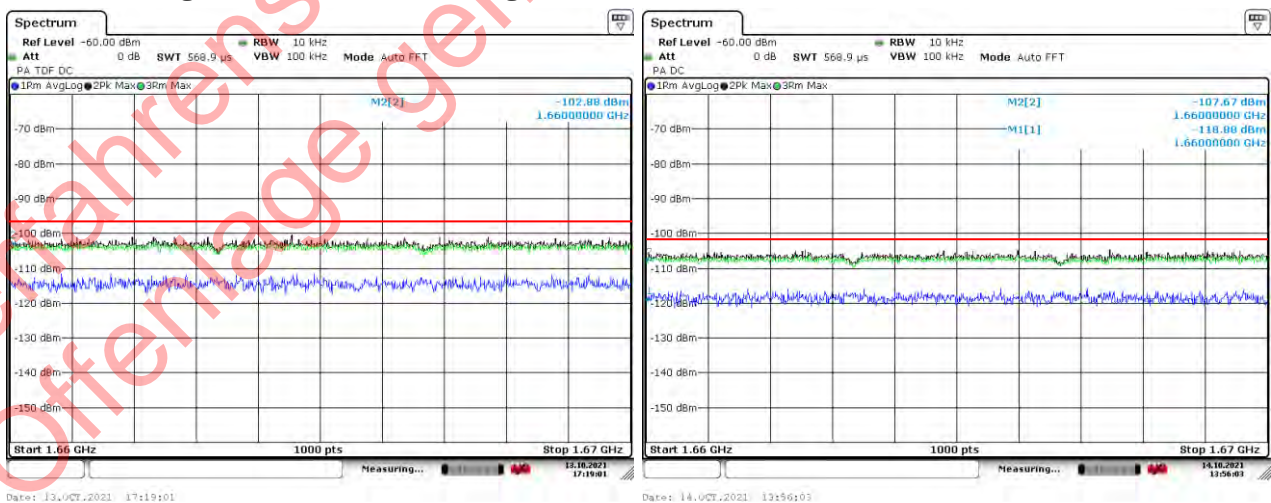


Abbildung 4-30: Ergebnisse der Messungen im 1670 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

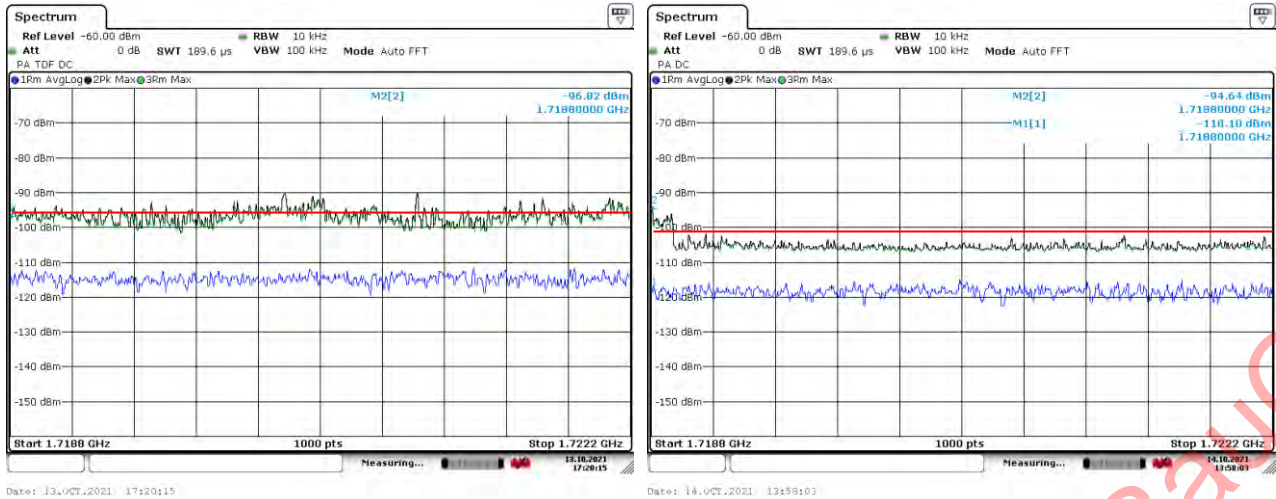


Abbildung 4-31: Ergebnisse der Messungen im 1720 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

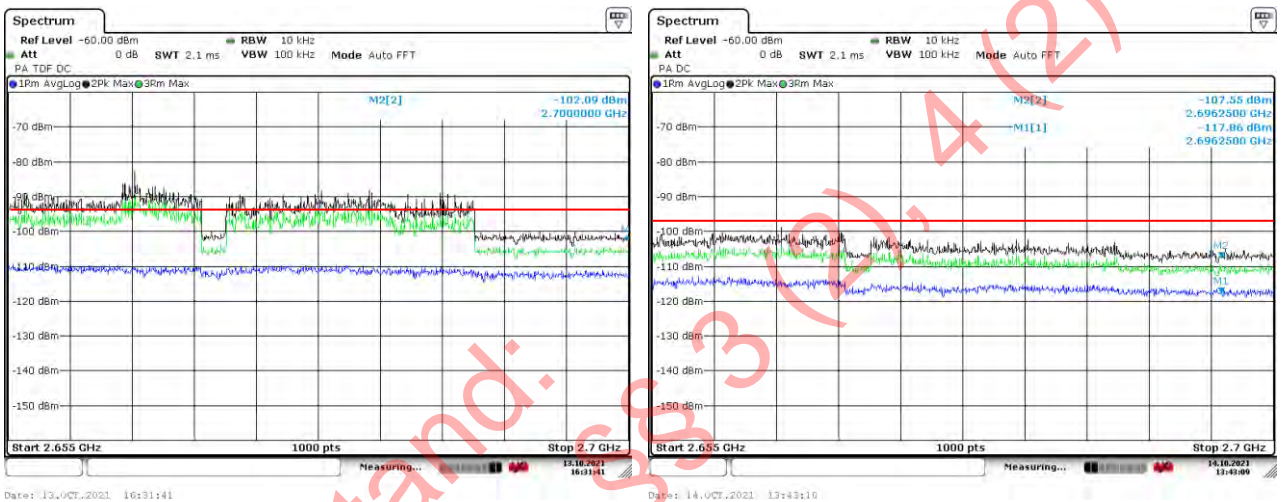


Abbildung 4-32: Ergebnisse der Messungen im 2675 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage und Ausrichtung auf Gondel

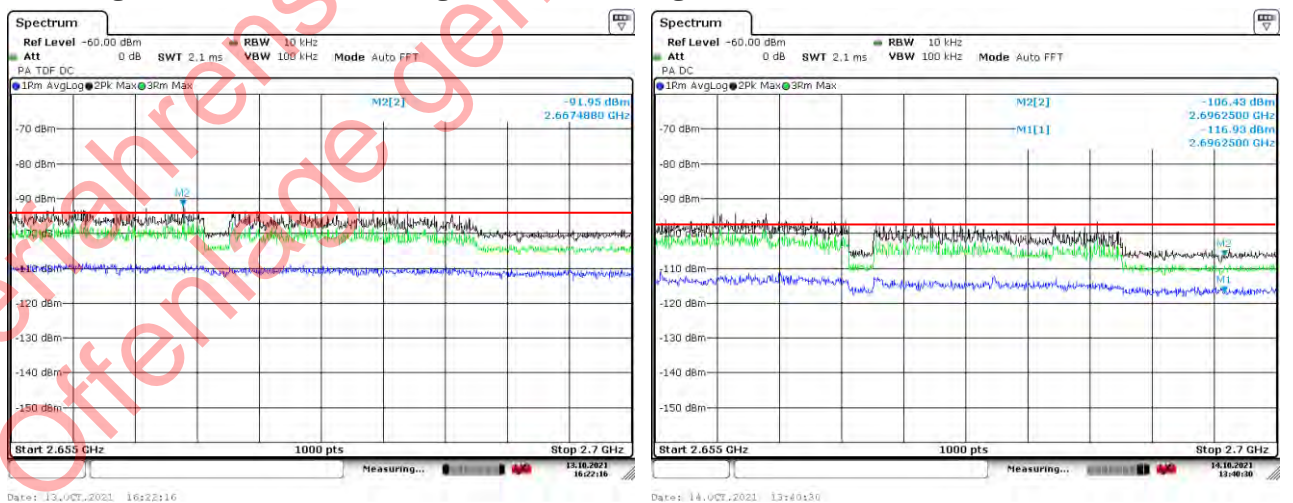


Abbildung 4-33: Ergebnisse der Messungen im 2675 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage und Ausrichtung auf Turm

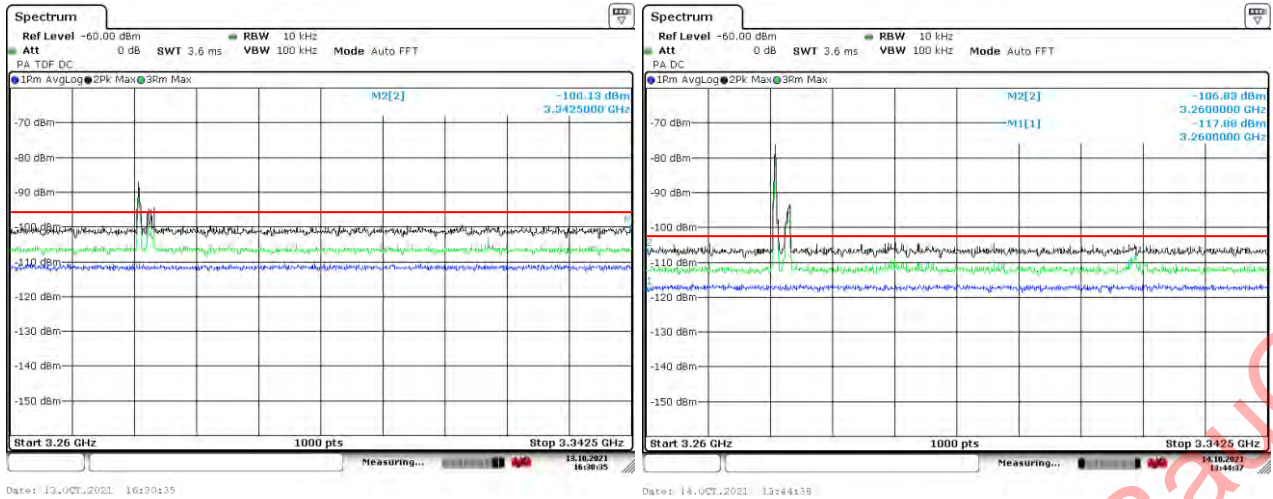


Abbildung 4-34: Ergebnisse der Messungen im 3300 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage und Ausrichtung auf Gondel

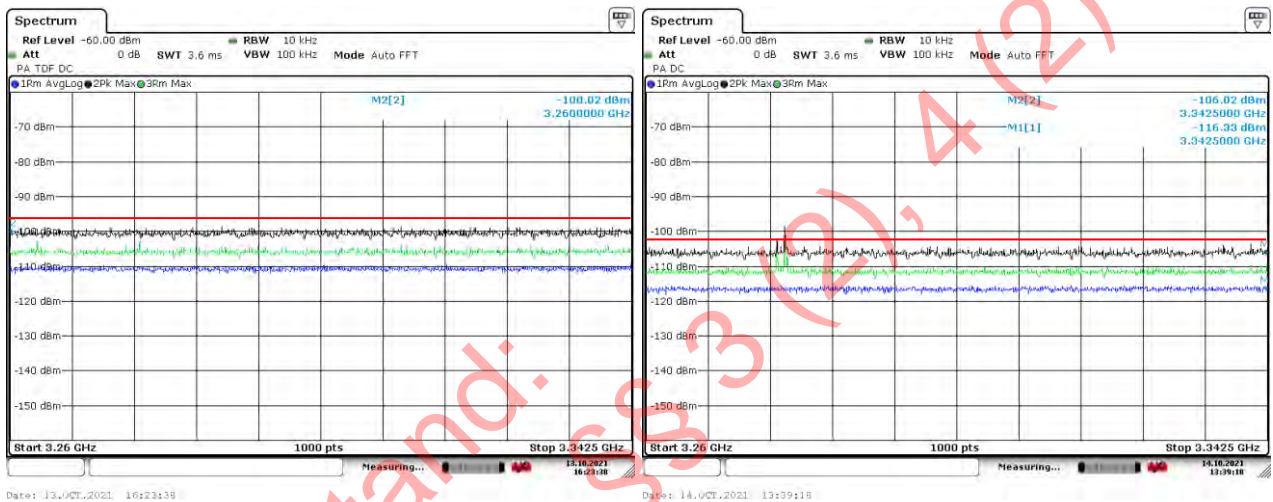


Abbildung 4-35: Ergebnisse der Messungen im 3300 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage und Ausrichtung auf Turm

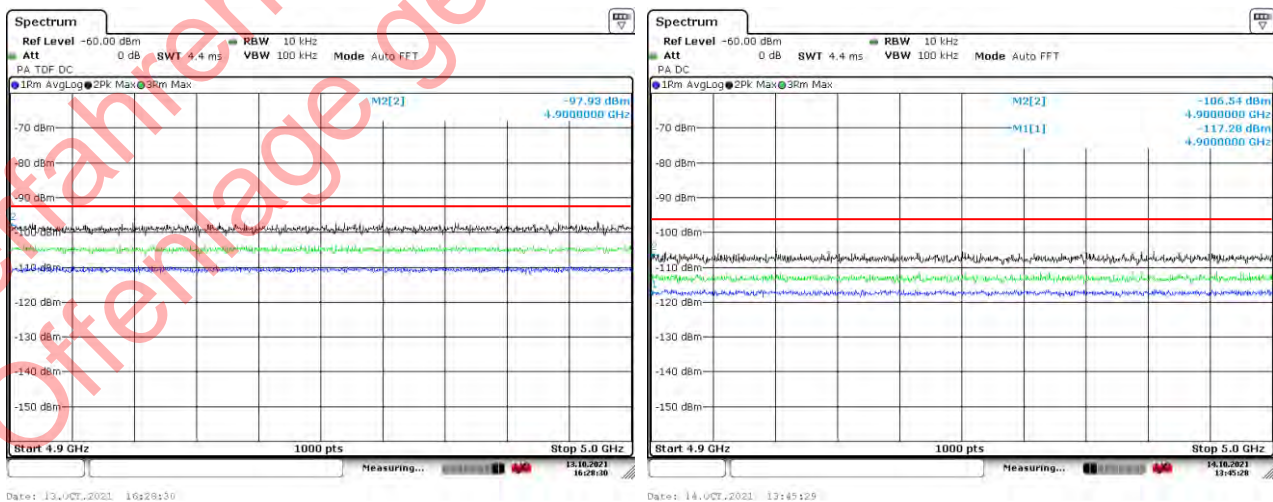


Abbildung 4-36: Ergebnisse der Messungen im 4950 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage und Ausrichtung auf Gondel

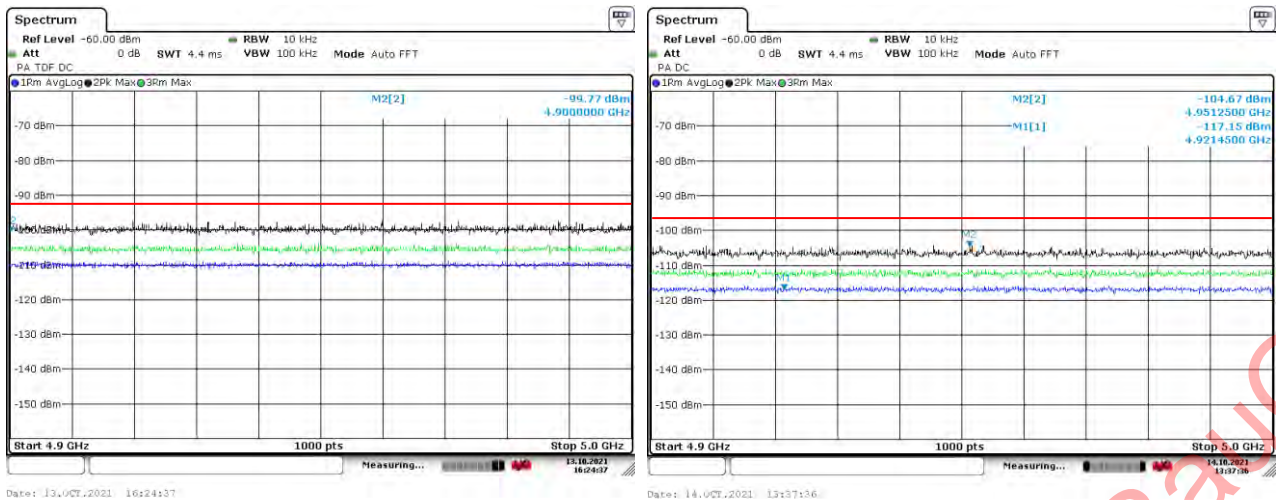


Abbildung 4-37: Ergebnisse der Messungen im 4950 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage und Ausrichtung auf Turm

4.4 Analyse der Messergebnisse

Die Analyse der Messergebnisse ist in folgender Tabelle für jeden Frequenzbereich aufgeführt.

Frequenzbereich, MHz	Messergebnis
406 – 410	Es ist ein konstantes Störsignal sowohl bei ein- als auch ausgeschalteter Anlage vorhanden. Der Grenzwert-Nachweis ist an diesem Messpunkt nicht möglich
608 – 614	Der Grenzwert liegt auf dem Niveau des Max-Hold Wertes des Rauschens sowohl bei ein- als auch ausgeschalteter Anlage und deutlich über dem Mittelwert des Rauschens. Der Grenzwert kann vermutlich eingehalten werden. Ein eindeutiger Nachweis ist allerdings nicht möglich, da ein angrenzendes starkes DVB-Signal das Rauschen des Systems beeinflusst (vgl. Abbildung 4-38)
1400 – 1427	Der Grenzwert liegt auf dem Niveau des Max-Hold Wertes des Eigenrauschens des Messsystems sowohl mit bei ein- als auch ausgeschalteter Anlage und deutlich über dem Mittelwert des Eigenrauschens. Ein eindeutiger Nachweis der Grenzwert-Einhaltung ist allerdings an diesem Messpunkt nicht möglich, da das Eigenrauschen des Systems durch externe Signale beeinflusst ist, wobei die Beeinflussung bei horizontaler Polarisation höher ist als bei vertikaler Polarisation
1610,6 – 1638	Der Grenzwert wird in diesem Frequenzbereich eingehalten
1660 – 1670	Der Grenzwert wird in diesem Frequenzbereich eingehalten
1718 – 1722,2	In diesem Frequenzbereich liegen Max-Hold-Werte über dem Grenzwert bei eingeschalteter Anlage. Allerdings sind sowohl bei der Zenit-Messung als auch bei der Messung mit der ausgeschalteten Anlage ein erhöhtes Rauschen festzustellen. Es ist davon auszugehen, dass auch in diesem Frequenzbereich eine externe Störung vorliegt und kein Grenzwertnachweis möglich ist
2655 – 2700	In diesem Frequenzbereich ist ein Einfluss der Mobilfunksignale festzustellen, so dass der Grenzwert-Nachweis an diesem Messpunkt nicht möglich ist.
3260 – 3342,5	In diesem Frequenzbereich ist ein externer Einfluss festzustellen, wobei dieser bei Ausrichtung auf die Gondel stärker ausfällt. Der Grenzwert-Nachweis ist in diesem Frequenzbereich nicht möglich
4900 – 5000	Der Grenzwert wird in diesem Frequenzbereich eingehalten

Legende der Markierung der Frequenzbereiche:

- Grau: Der Grenzwert kann wegen des externen Einflusses nicht nachgewiesen werden
- Blau: Grenzwert kann voraussichtlich eingehalten werden, ein genauerer Nachweis kann wegen externer Störeinflüsse nicht erbracht werden
- Grün: Der Grenzwert kann eingehalten werden
- Rot: Grenzwert wird durch die Anlage vermutlich überschritten

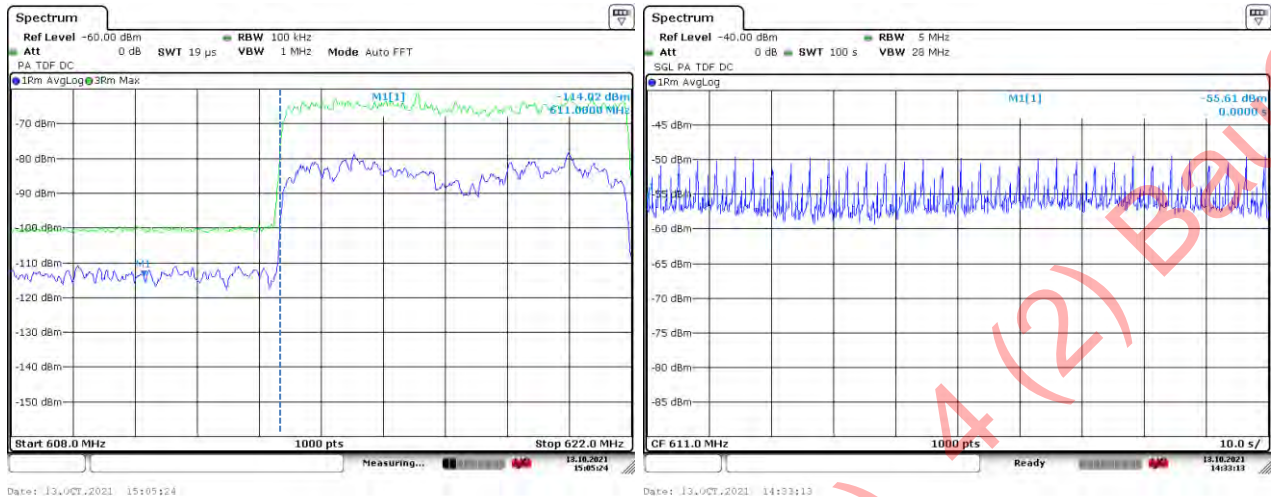


Abbildung 4-38: Benachbartes DVB-Signal (links) und Störung bei Aufnahme im Zeitbereich

Da in vielen Frequenzbereichen externe Störeinflüsse auftraten, die den Nachweis der Grenzwerteinhalten verhinderten, wurde beschlossen die Messung im Turm und in der Gondel der Anlage im ein- und ausgeschalteten Zustand durchzuführen. Hierbei bestanden allerdings folgende Einschränkungen:

- Im „Keller“ der Anlage befindet sich eine Mittelspannungsanlage, die Messungen direkt vor der Anlage sind aus Sicherheitsgründen nicht möglich. Die Antenne wurde an der Bodenöffnung in ca. 2m-3m von der Anlage gehalten
- Die Messungen im Turm waren sowohl bei ein- als auch bei ausgeschalteter Anlage möglich
- Die Messungen in Gondel waren aus Sicherheitsgründen nur bei eingeschalteter Anlage mit dem abgestellten Generator möglich. Alle IT-Geräte waren allerdings eingeschaltet.

Die Ergebnisse sind im nachfolgenden Kapitel dargestellt.

5 Messungen innerhalb der Windenergieanlage

In nachfolgenden Fotos ist die Umgebung innerhalb der geplanten Windenergieanlage dargestellt.



Abbildung 5-1: Schränke mit elektronischen Geräten im Turm der Anlage



Abbildung 5-2: Einrichtungen in der Gondel der Anlage

Aus Platzgründen mussten eine andere, kleinere Antenne (Aaronia HyperLog4-080), der LNA2 mit dem Testline-Kabel und ein tragbarer Spektrumanalysator FSH6 verwendet werden. Wegen der Änderungen der eingesetzten Messgeräte mussten Grenzwerte für die Messungen innerhalb der Anlage abgeleitet werden. Diese sind in nachfolgender Tabelle für eine Entfernung von 3m aufgeführt.

Tabelle 5-1: Grenzwerte für 3m-Entfernung für die Messungen innerhalb der Anlage

Frequenz, MHz	Zulässige EIRP einer WEA, dBW/10kHz	E in 3m, dBµV/10kHz/m	Ant. Faktor Hyper-log4080, dB/m	Verstärker +10m H&S Kabel, dB	P für 3m, dBm/10kHz
408,0	-95,5	29,7	16,9	19,9	-74,3
611,0	-91,3	33,9	19,7	17,0	-75,8
1413,5	-89,3	35,9	27,2	18,7	-79,6
1610,0	-85,7	39,6	28,4	18,6	-77,2
1665,0	-85,2	40,0	29,7	18,0	-78,7
1720,0	-84,9	40,4	28,5	17,9	-77,2
2695,0	-78,9	46,4	34,0	16,0	-78,6
3300,0	-76,7	48,5	34,4	14,5	-78,4
4995,0	-70,7	54,5	36,8	11,7	-77,6

Die Messergebnisse sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Aufgrund der starken Reflexionen innerhalb des metallenen Turmes wurde die Messantenne gedreht, um den räumlich maximalen Wert zu erfassen und die Richtwirkung zu kompensieren. Dieser Max-Hold-Wert ist in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

5.1 Messung mit vertikaler Polarisation

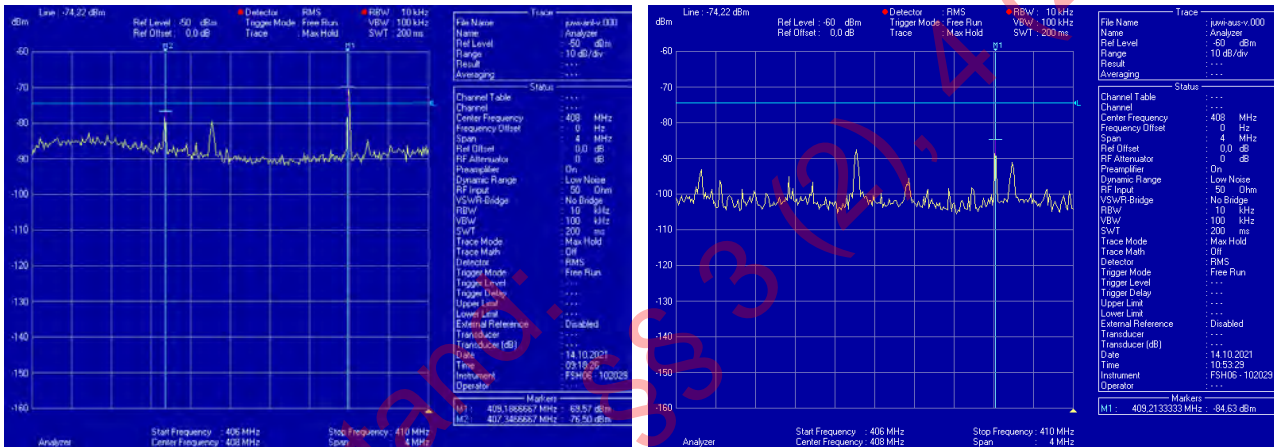


Abbildung 5-3: Ergebnisse der Messungen im 410 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

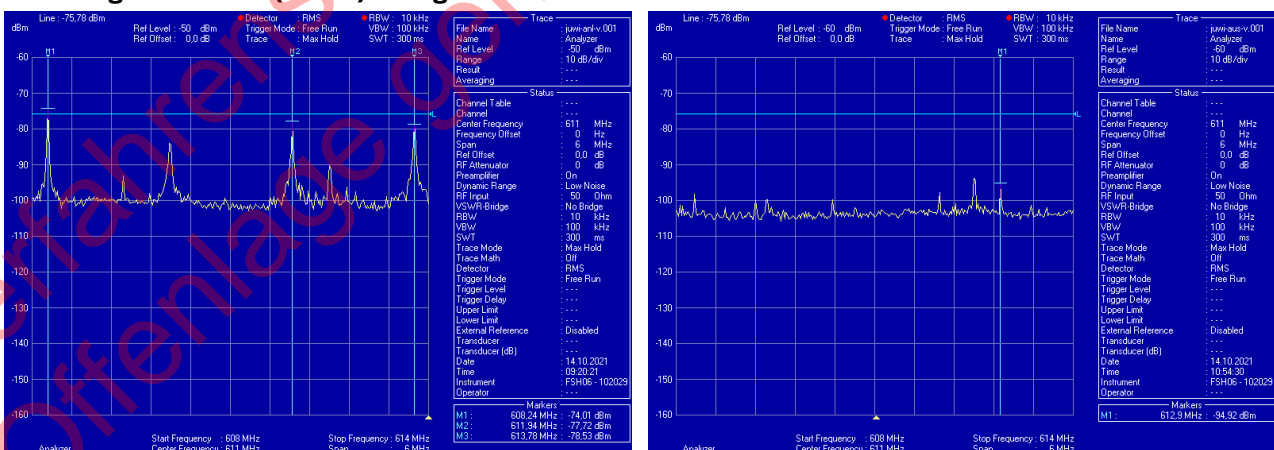


Abbildung 5-4: Ergebnisse der Messungen im 611 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

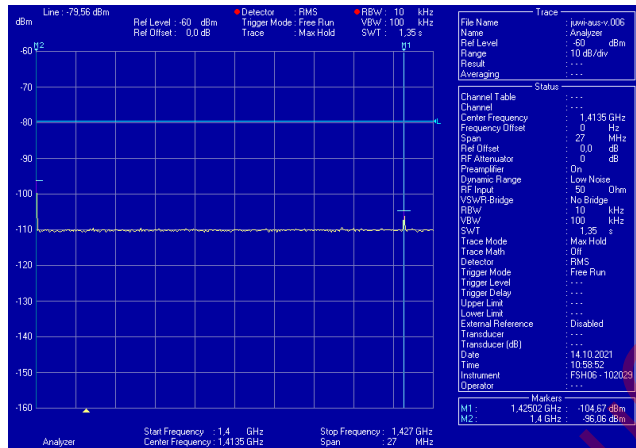
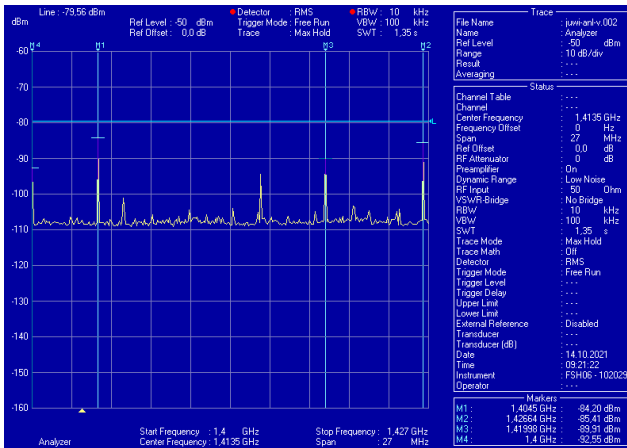


Abbildung 5-5: Ergebnisse der Messungen im 1427 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

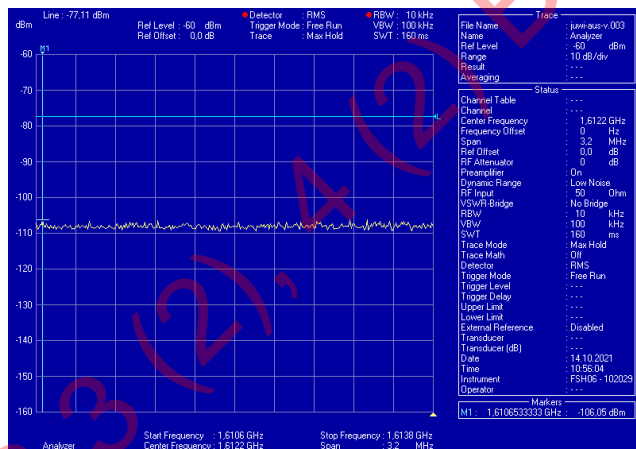
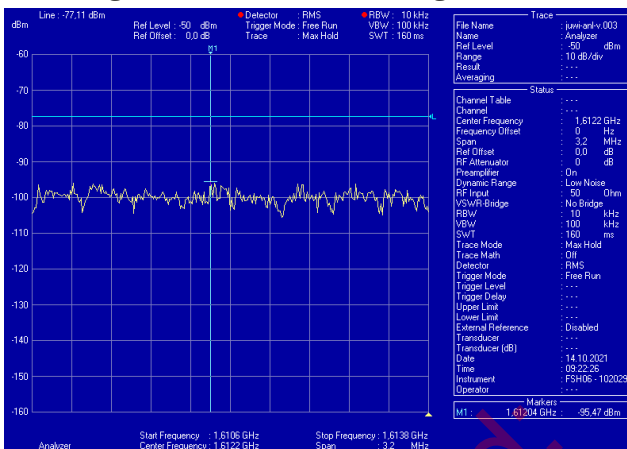


Abbildung 5-6: Ergebnisse der Messungen im 1611 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

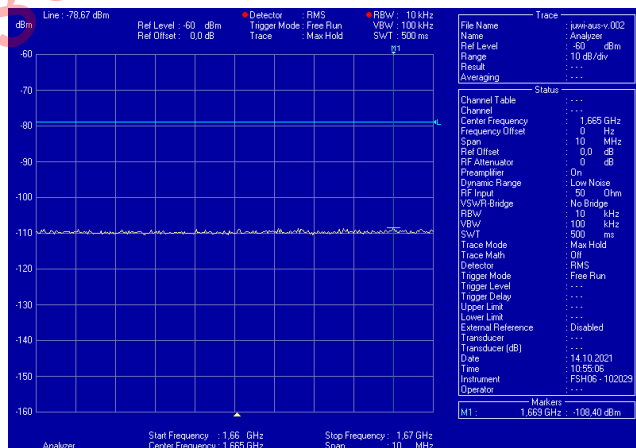
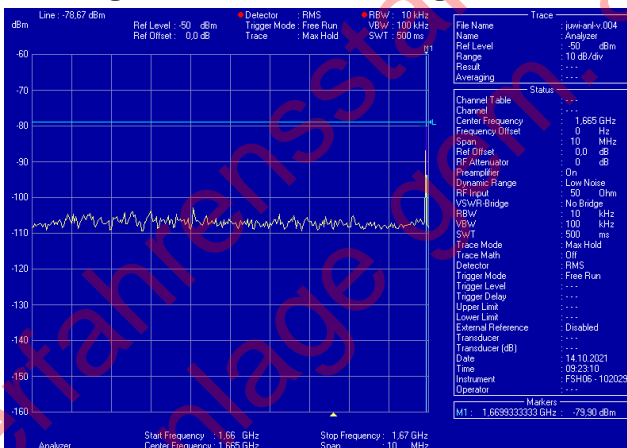


Abbildung 5-7: Ergebnisse der Messungen im 1665 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

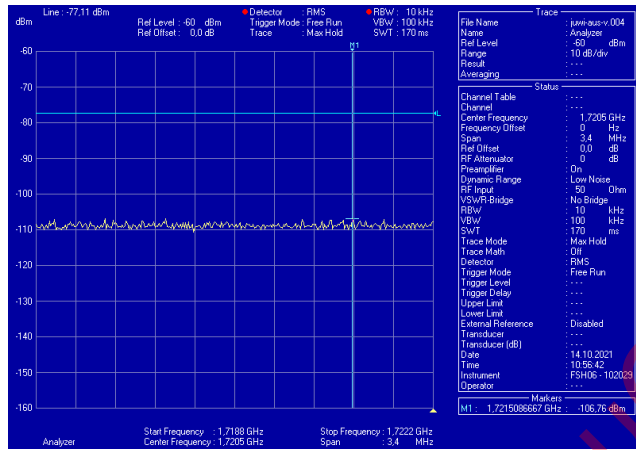
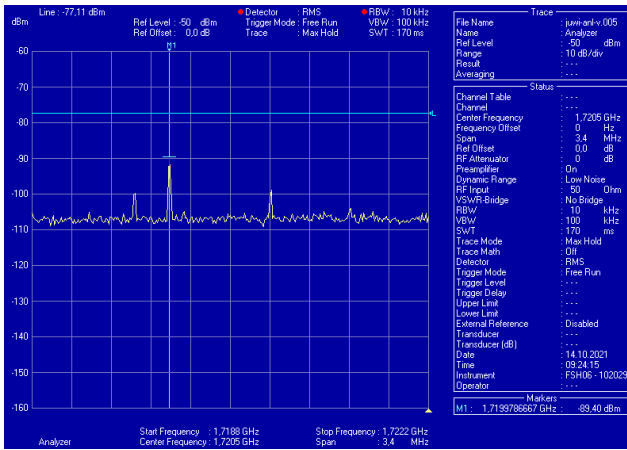


Abbildung 5-8: Ergebnisse der Messungen im 1720 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

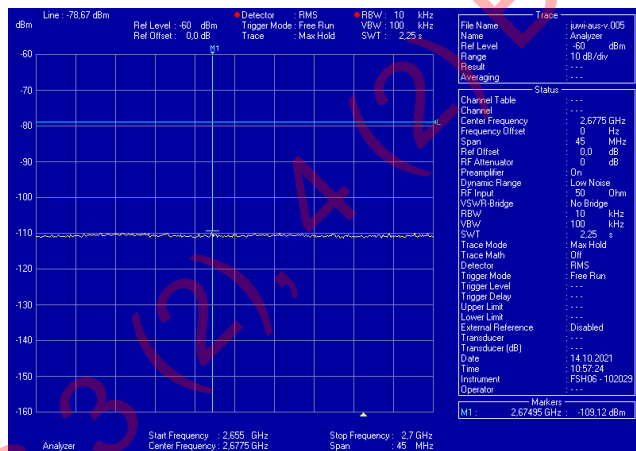
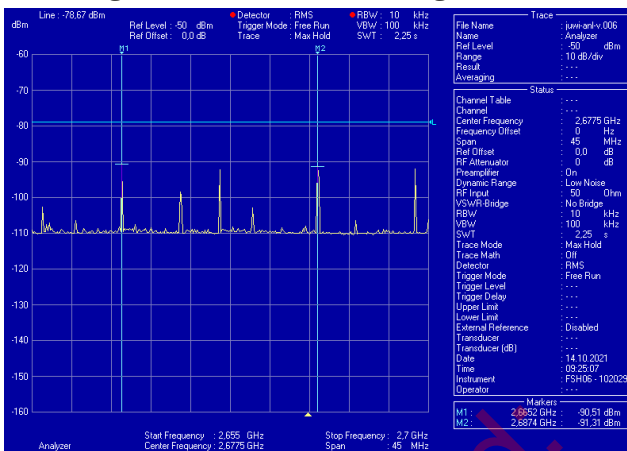


Abbildung 5-9: Ergebnisse der Messungen im 2670 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

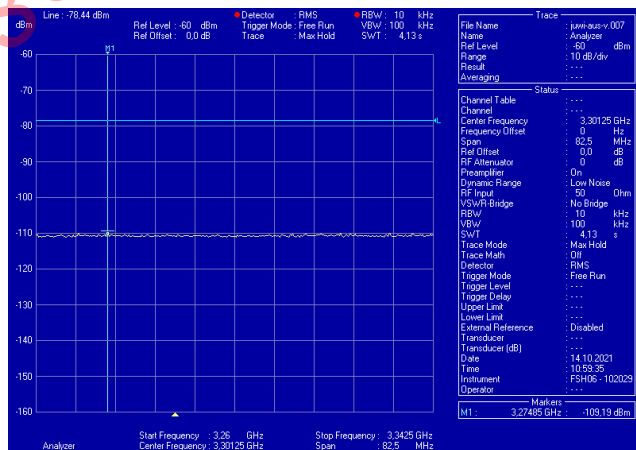
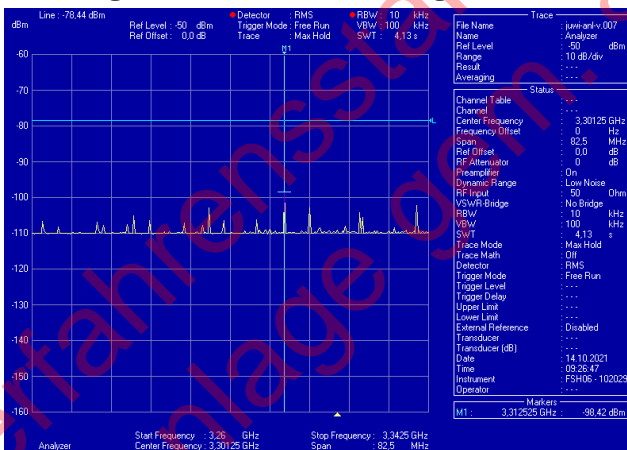


Abbildung 5-10: Ergebnisse der Messungen im 3300 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

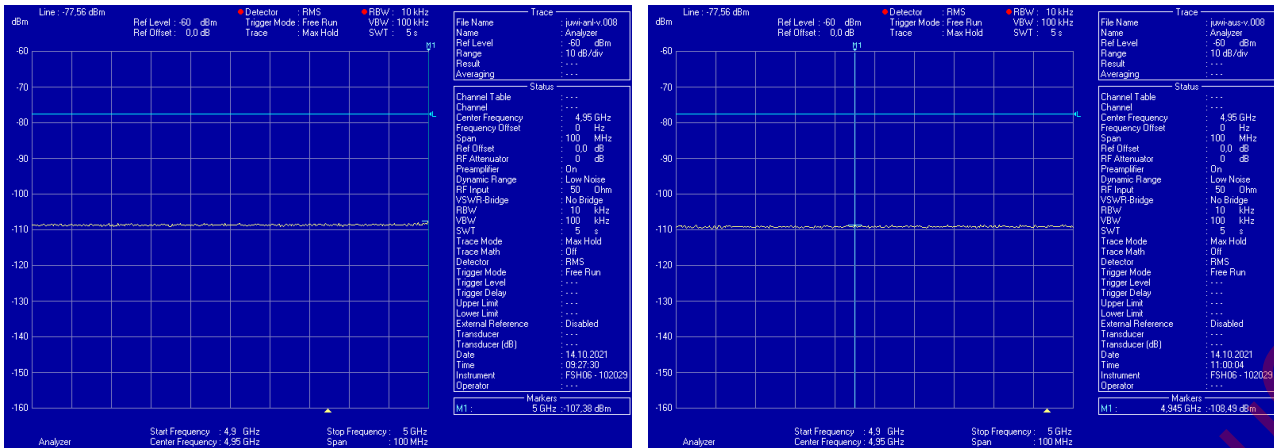


Abbildung 5-11: Ergebnisse der Messungen im 4950 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

5.2 Messung mit horizontaler Polarisation

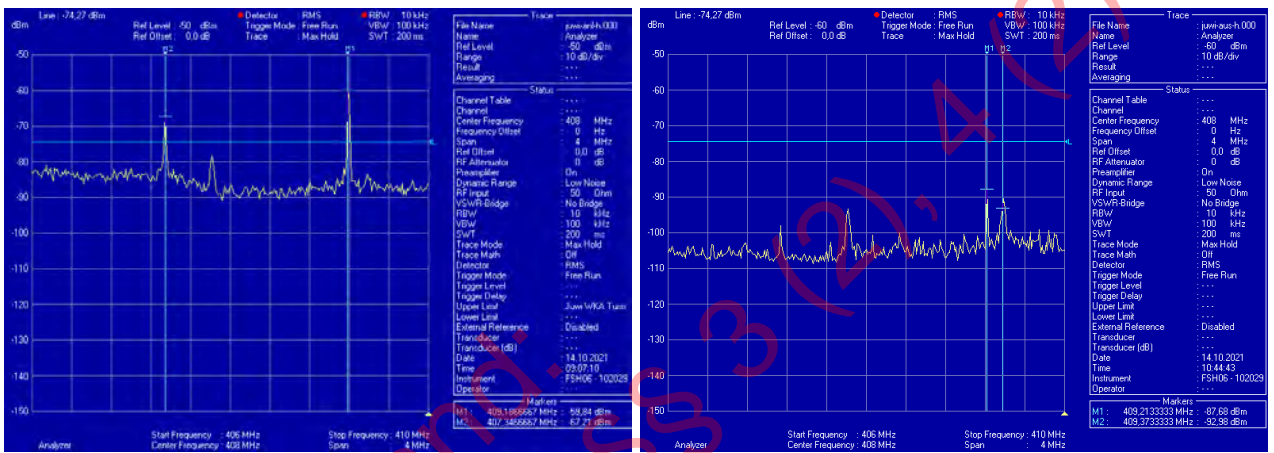


Abbildung 5-12: Ergebnisse der Messungen im 410 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

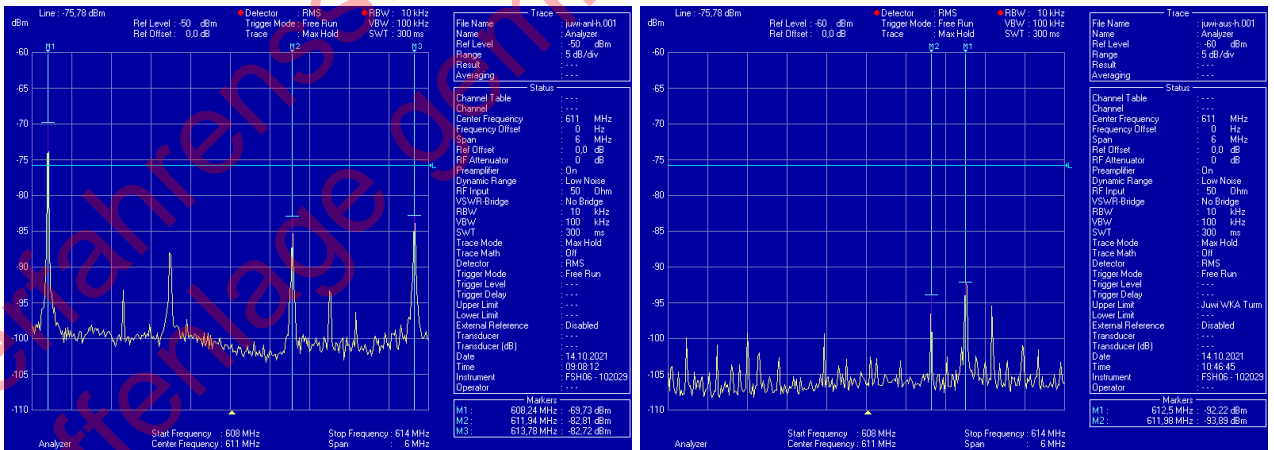


Abbildung 5-13: Ergebnisse der Messungen im 611 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

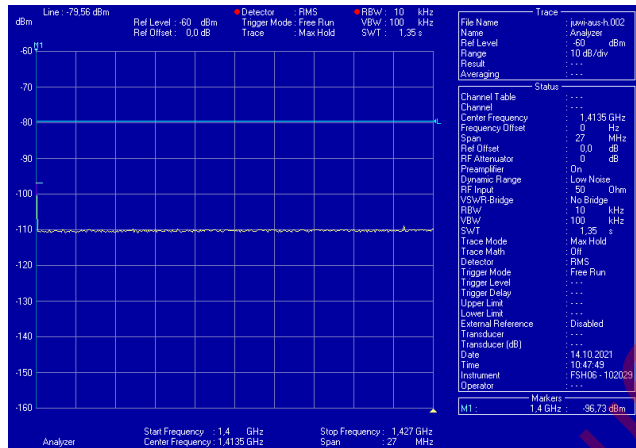
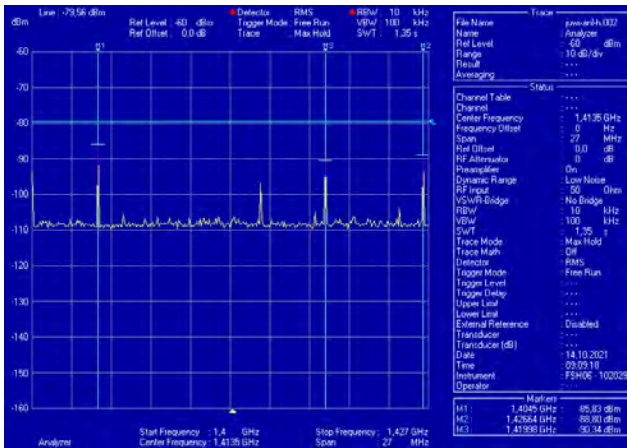


Abbildung 5-14: Ergebnisse der Messungen im 1427 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

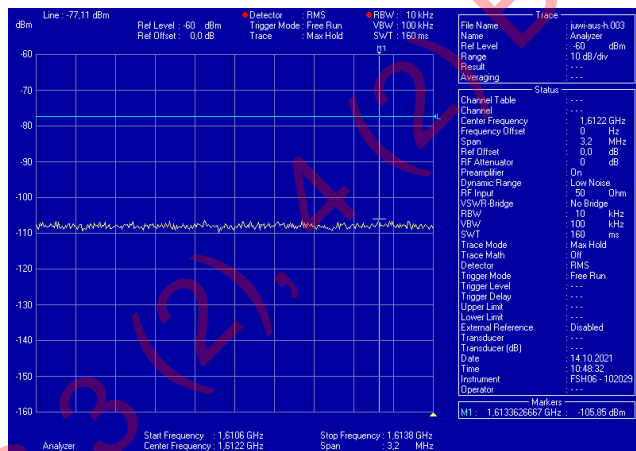
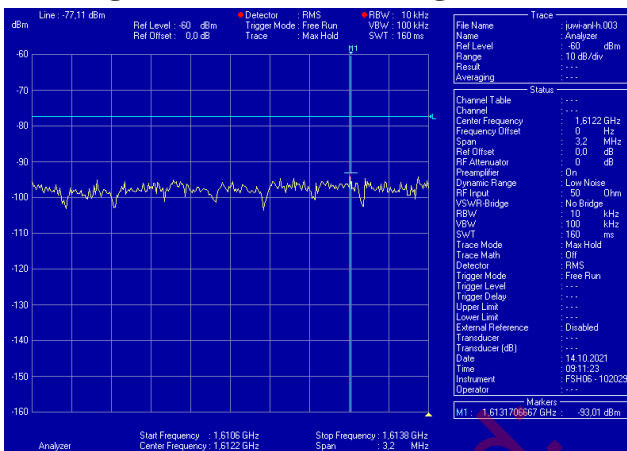


Abbildung 5-15: Ergebnisse der Messungen im 1611 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

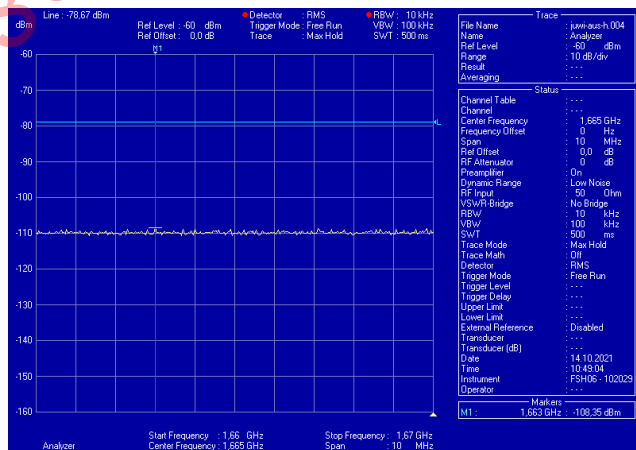
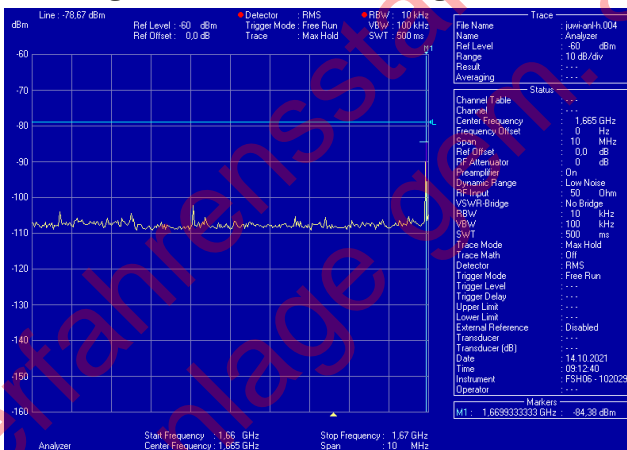


Abbildung 5-16: Ergebnisse der Messungen im 1665 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

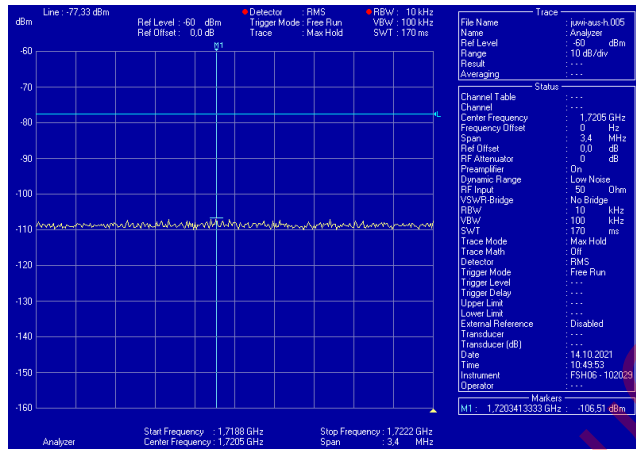
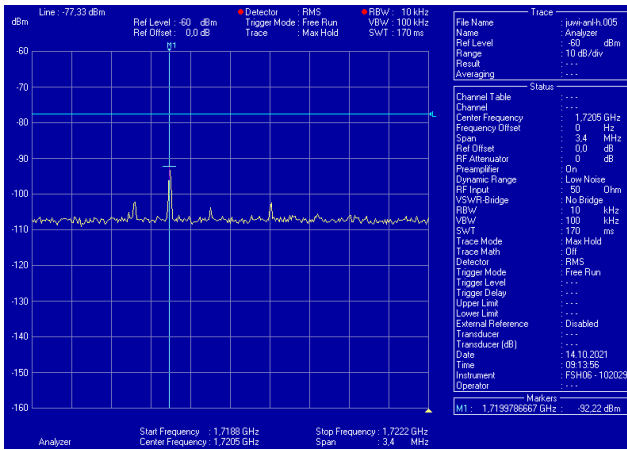


Abbildung 5-17: Ergebnisse der Messungen im 1720 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

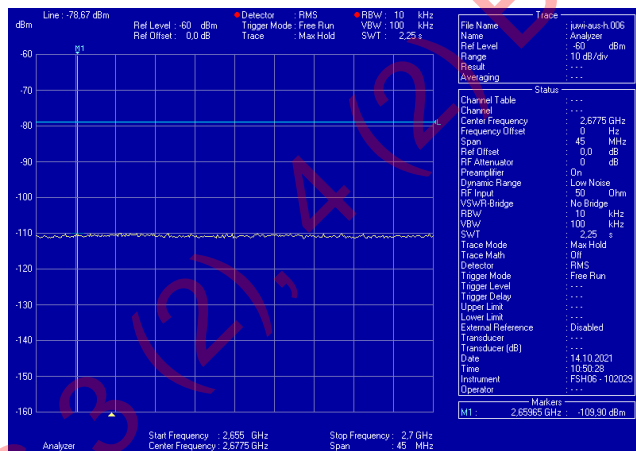
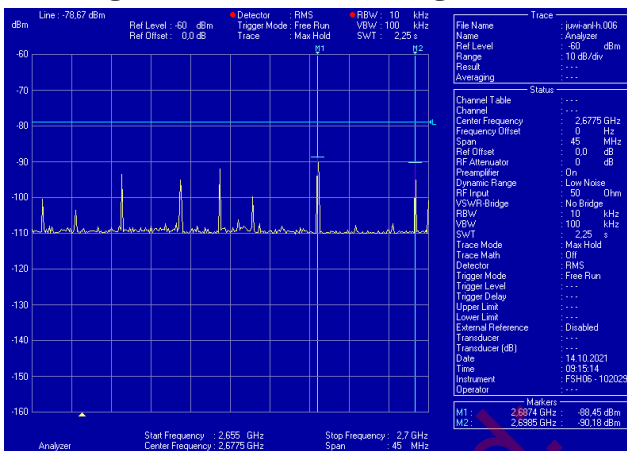


Abbildung 5-18: Ergebnisse der Messungen im 2670 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

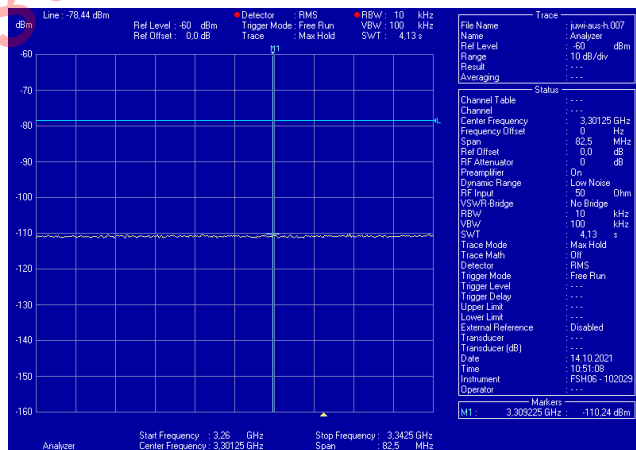
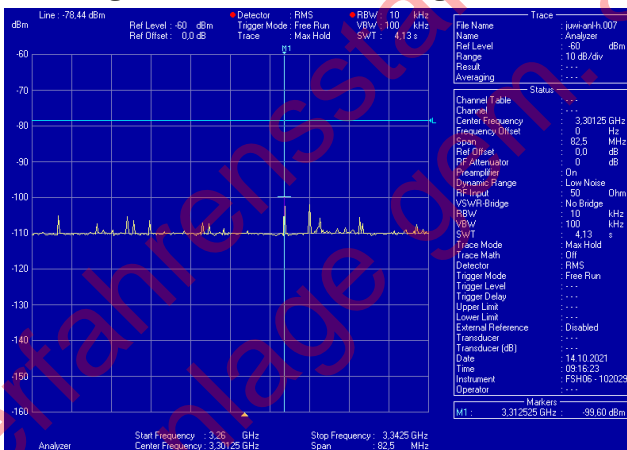


Abbildung 5-19: Ergebnisse der Messungen im 3300 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

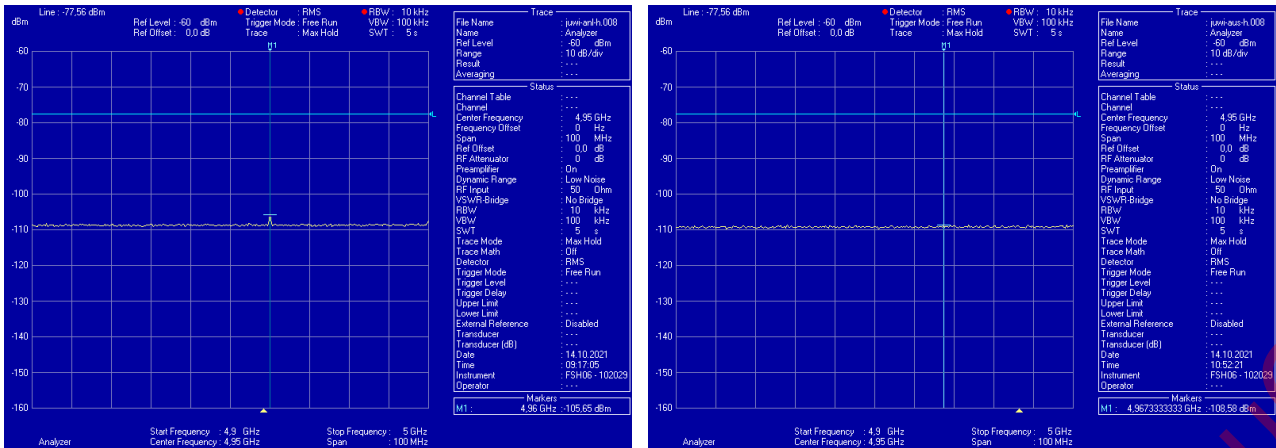


Abbildung 5-20: Ergebnisse der Messungen im 4950 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

5.3 Messungen in der Gondel

In der Gondel wurde festgestellt, dass der LNA2 in der Nähe des Generators übersteuert wurde. Aus diesem Grund wurde Messungen ohne LNA durchgeführt. Hierfür wurden erneut die Grenzwerte angepasst, die in nachfolgender Tabelle aufgeführt sind.

Frequenz, MHz	Zulässige EIRP einer WEA, dBW/10kHz	E in 3m, dBµV/10kHz/m	Ant. Faktor Hyperlog4080	Testline 6m, dB	P für 3m, dBm/10kHz
408,0	-95,5	29,7	16,9	-0,9	-95,1
611,0	-91,3	33,9	19,7	-1,3	-94,1
1413,5	-89,3	35,9	27,2	-1,7	-100,0
1610,0	-85,7	39,6	28,4	-2,0	-97,8
1665,0	-85,2	40,0	29,7	-2,0	-98,7
1720,0	-84,9	40,4	28,5	-2,0	-97,1
2695,0	-78,9	46,4	34,0	-2,8	-97,4
3300,0	-76,7	48,5	34,4	-3,3	-96,2
4995,0	-70,7	54,5	36,8	-3,7	-93,0

Dabei wurde einen räumlich maximaler Wert (Max-Hold-Wert für vertikale und horizontale Polarisation) ermittelt. Dieser ist in nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Wie bereits beschrieben, konnte eine Messung in der Gondel nur bei der in Betrieb befindlichen WEA, die allerdings keinen Strom erzeugt, durchgeführt werden. Aus Sicherheitsgründen war eine Messung weder bei vollständig ausgeschalteter Anlage (Lift ist nicht betriebsbereit) noch während der Stromerzeugung möglich.

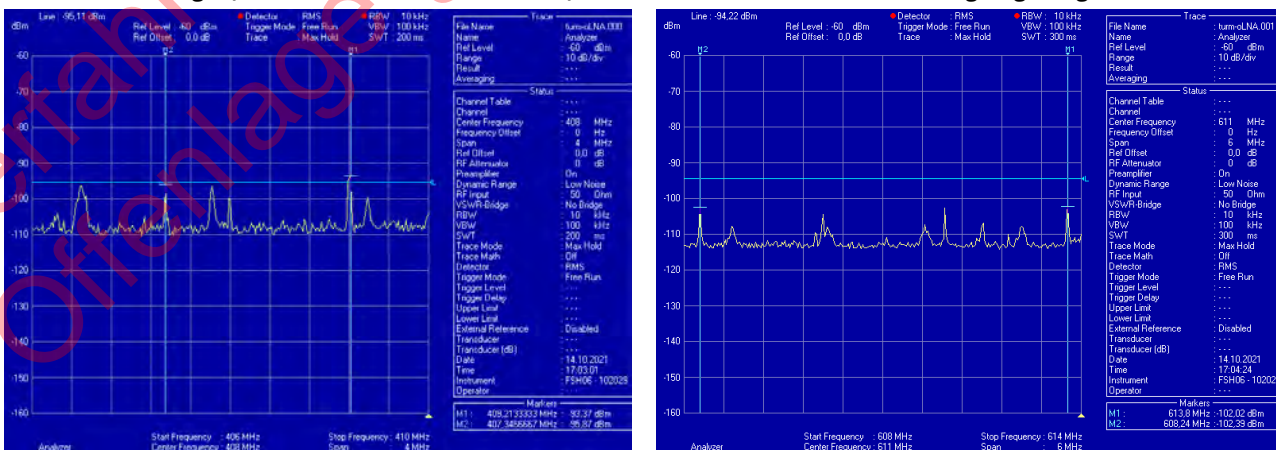


Abbildung 5-21: Messergebnisse in der Gondel für 408 MHz (links) und 611 MHz (rechts)

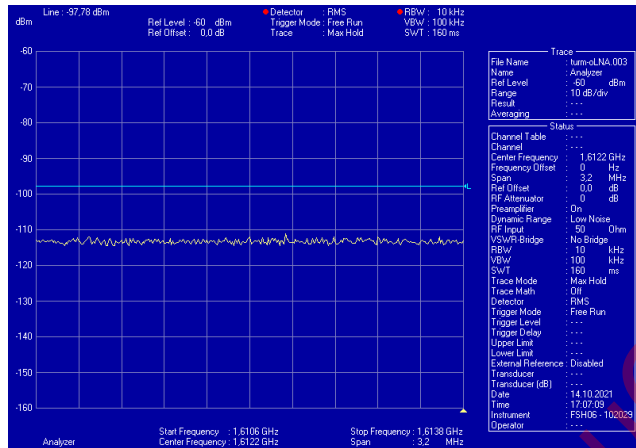
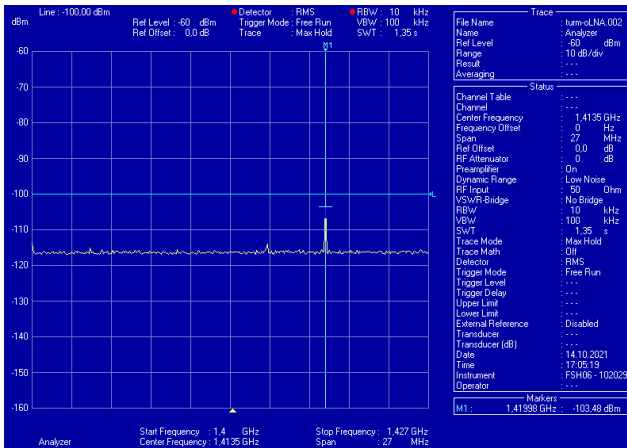


Abbildung 5-22: Messergebnisse in der Gondel für 1411 MHz (links) und 1612 MHz (rechts)

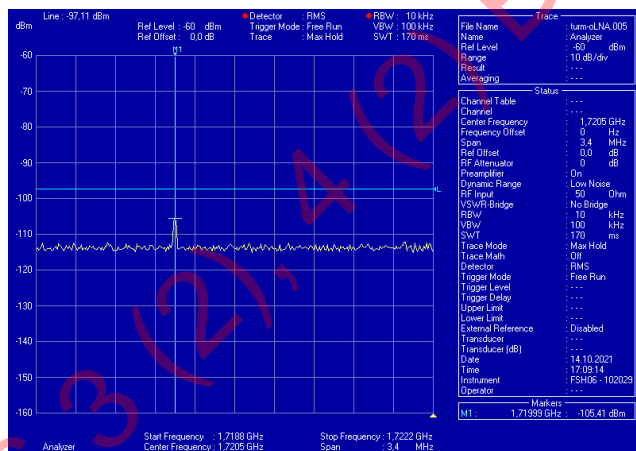
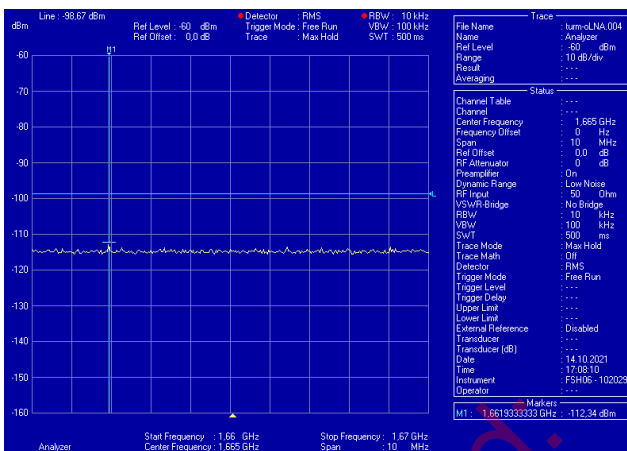


Abbildung 5-23: Messergebnisse in der Gondel für 1666 MHz (links) und 1720 MHz (rechts)



Abbildung 5-24: Messergebnisse in der Gondel für 2670 MHz (links) und 3300 MHz (rechts)

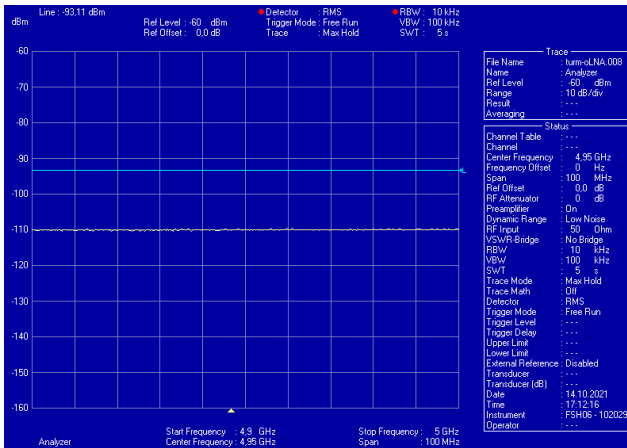


Abbildung 5-25: Messergebnisse in der Gondel für 4950 MHz

Während der Messungen wurden folgende Signale identifiziert, die von den IT-Geräten ausgesendet werden. Nachfolgend sind die Spektren dargestellt, die direkt vor den Geräten ermittelt wurden.

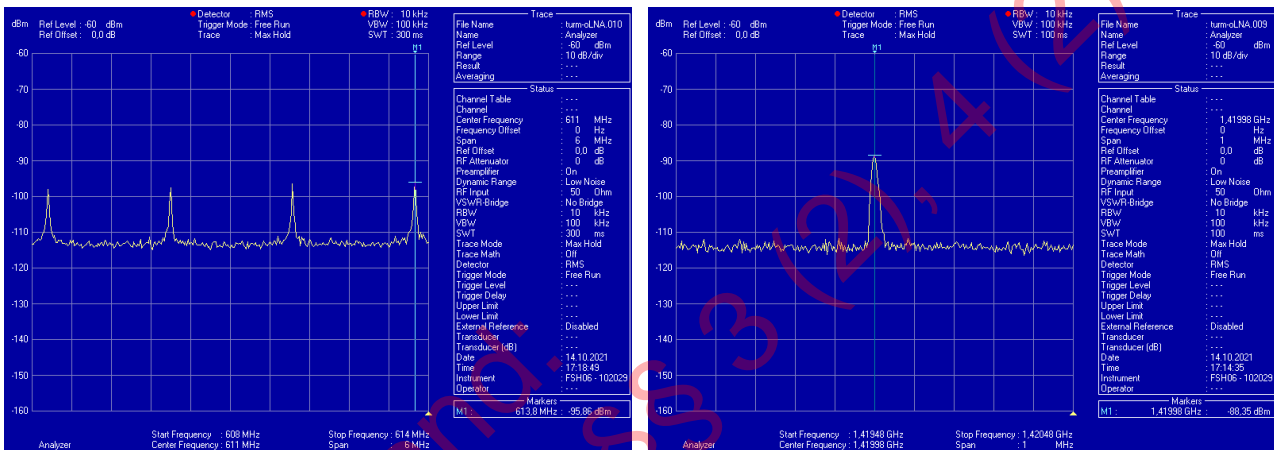


Abbildung 5-26: Signale, die von IT-Geräten ausgesendet werden

Es handelt sich hierbei um die Steuerrechner.



Abbildung 5-27: Steuerrechner

Es ist anzumerken, dass die Pegel gering waren.

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

6.1 406 MHz – 410 MHz

In diesem Frequenzbereich waren externe Störungen vorhanden, weshalb ein direkter Nachweis der Grenzwerte nicht möglich war. Dennoch konnte durch einen Vergleich der Messungen bei ein- und ausgeschalteter Anlage ermittelt werden, dass im Turm der Anlage eine Störquelle vorhanden ist, mit der eine Überschreitung des Grenzwertes möglich wäre.

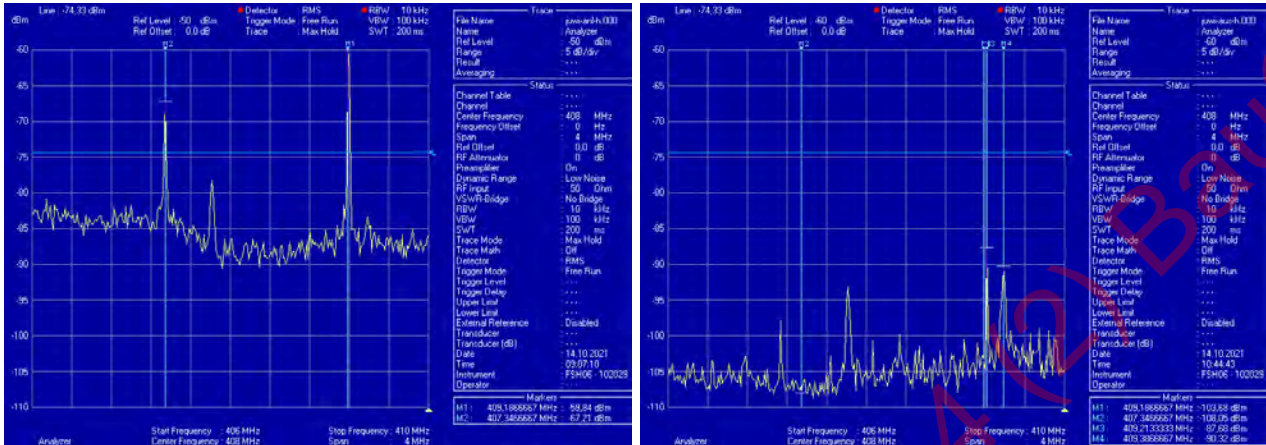


Abbildung 6-1: Ergebnisse der Messungen mit horizontaler Polarisation im 410 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

Wie der Abbildung zu entnehmen ist, gibt es 2 Signale, die ca. 7 dB und 15 dB über dem Grenzwert liegen. In der Gondel liegen diese Signale unter dem Grenzwert selbst ohne Berücksichtigung der Dämpfung der Gondel. Das einzige Signal, das bei einer Frequenz von 409,21333 MHz knapp über dem Grenzwert liegt, tritt auch im Turm bei ausgeschalteter Anlage aus. Es ist davon auszugehen, dass dieses von einer externen Quelle kommt.

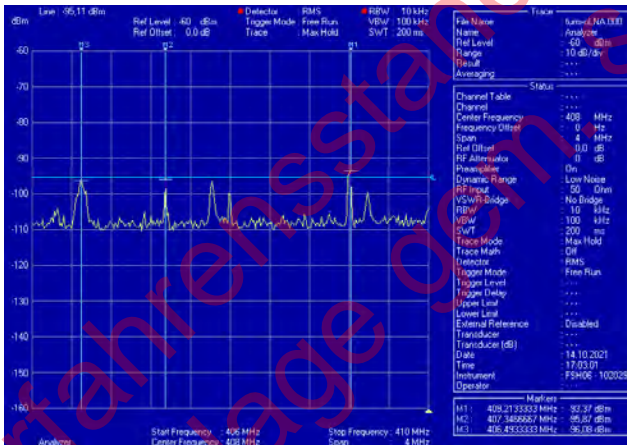


Abbildung 6-2: Messergebnisse in der Gondel

Zur Verifizierung, ob die über dem Grenzwert liegenden Signale außerhalb des Metallturmes noch zu empfangen sind, wurden Messungen in 10m Entfernung vom Turm mit dem tragbaren Spektrumanalysator und Hyperlog-Antenne samt LNA2 und Testline-Kabel bei eingeschalteter Anlage durchgeführt. Dabei erfolgte die Messung mit vertikaler und horizontaler Polarisation an 2 Seiten der Anlage (Türseite und gegenüberliegende Seite des Turms).

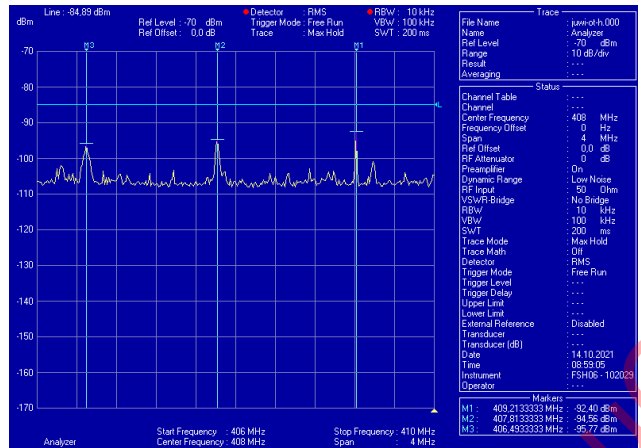
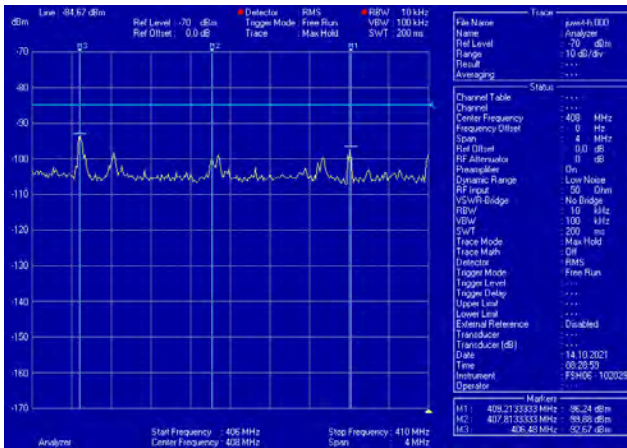


Abbildung 6-3: Ergebnisse der Messungen im 408MHz Frequenzbereich in 10m vom Turm bei eingeschalteter Anlage an der Seite mit der Tür (links) und ohne Tür (rechts)

Vergleicht man Abbildung 6-1 und Abbildung 6-3 so stellt man fest, dass die bei eingeschalteter Anlage ermittelten Signale außerhalb des Turmes unter dem Rauschpegel des Messsystems liegen und damit deutlich unter dem Grenzwert.

6.2 608 MHz – 614 MHz

In diesem Frequenzbereich lag der Max-Hold-Wert des Rauschens des eingesetzten Messsystems bei der Messung in 135m Entfernung im Bereich des Grenzwertes. Dabei war die Verbesserung der Messdynamik durch Integration über längerer Zeit wegen des Einflusses des benachbarten DVB-T Signals nicht möglich. Die Messung innerhalb der Anlage zeigte, dass im Turm ein Signal vorhanden war, das ca. 6dB über dem Grenzwert lag.

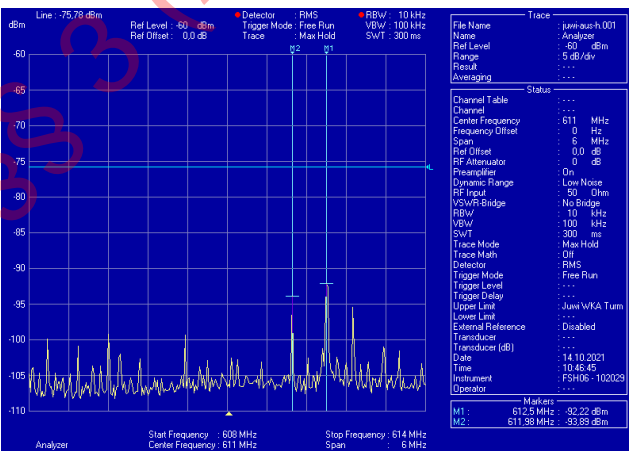
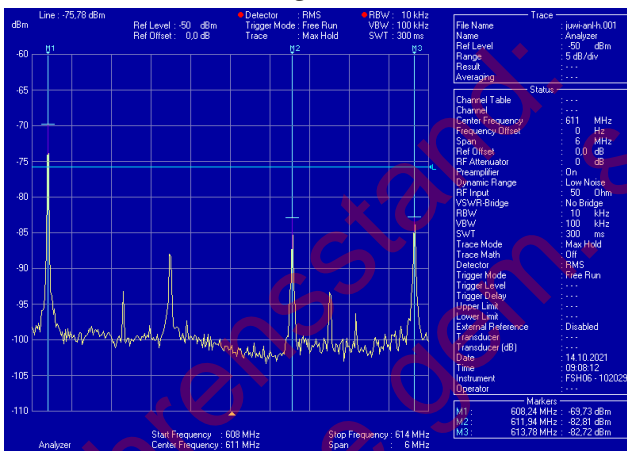


Abbildung 6-4: Ergebnisse der Messungen im 611 MHz Frequenzbereich bei eingeschalteter (links) und ausgeschalteter (rechts) Anlage

In der Gondel lagen diese Signale deutlich unter dem Grenzwert, wie in der untenstehenden Abbildung dargestellt ist.

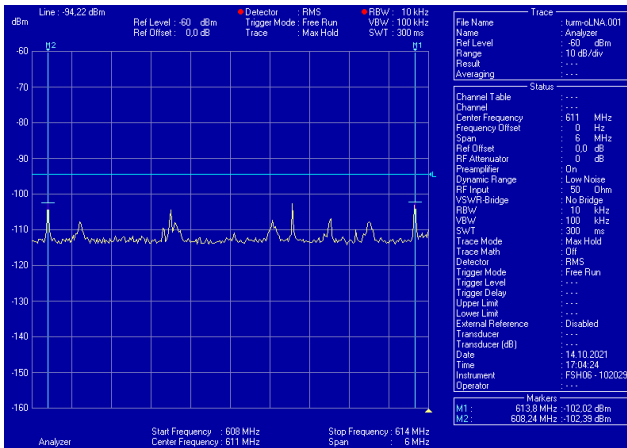


Abbildung 6-5: Messung in der Gondel in 610 MHz Frequenzbereich.

Auch in diesem Frequenzbereich wurden die Messungen in 10m vom Turm an der Seite mit und ohne Tür durchgeführt.



Abbildung 6-6: Ergebnisse der Messungen im 611MHz Frequenzbereich in 10m vom Turm bei eingeschalteter Anlage an der Seite mit der Tür (links) und ohne Tür (rechts)

Wie den Abbildungen zu entnehmen ist, werden Signale sehr gut gedämpft und sind außerhalb des Turmes so gut wie nicht zu empfangen.

6.3 1,400 – 1,427 GHz

In einer Entfernung von 135m wird der Grenzwert für die Max-Hold-Kurve durch ein externes Rauschen knapp überschritten. Die Messung in der Anlage zeigten, dass weder im Turm noch in der Gondel Signale zu ermitteln sind, die in diesem Frequenzbereich eine Grenzwertüberschreitung hervorrufen können.

6.4 1,6106 – 1,638 GHz und 1,660 – 1,670 GHz

In einer Entfernung von 135m wurde der Grenzwert selbst für die Max-Hold-Kurve eingehalten. Die Messung in der Anlage zeigten, dass in diesem Frequenzbereich weder im Turm noch in der Gondel Signale zu ermitteln sind, die eine Grenzwert-Überschreitung hervorrufen können.

6.5 1,718 – 1,7222 GHz

In diesem Frequenzbereich wurde der Grenzwert für die Max-Hold-Kurve durch einen externen Störeinfluss überschritten. Die Messungen im Turm und in der Gondel zeigten, dass zwar eine Störaussendung durch elektronische Geräte in diesem Frequenzbereich vorhanden ist, allerdings lag der Pegel unter dem Grenzwert. Diese schmalbandigen Signale konnten außerhalb der Anlage nicht ermittelt werden. Es ist davon auszugehen, dass auch in diesem Frequenzbereich der Grenzwert eingehalten

wird. Sicherheitshalber sollten die in der Abbildung 5-27 dargestellten Steuerrechner in einem umseitig geschlossenen Metall-Gehäuse (oder Gitter-Gehäuse mit Maschenweite <5mm) installiert werden, um den Pegel der Störsignale noch weiter zu reduzieren.

6.6 2,655 – 2,700 GHz

In diesem Frequenzbereich gab es einen deutlichen externen Störeinfluss, der mit hoher Wahrscheinlichkeit durch Mobilfunksignale verursacht wird. Weder im Turm noch in der Gondel konnten Signale identifiziert werden, die in diesem Frequenzbereich eine Überschreitung des Grenzwertes hervorrufen konnten.

6.7 3,260 – 3,3425 GHz

In diesem Frequenzbereich gab es 2 externe schmalbandige Störsignale, die sowohl bei der eingeschalteten als auch bei der ausgeschalteten Anlage zu empfangen waren. Der Pegel der Störsignale war bei der Ausrichtung auf die Gondel höher als bei der Ausrichtung auf den Turm, sodass davon auszugehen ist, dass die Signale von der Anlage reflektierten. Im Turm der Anlage konnten diese Signale nicht empfangen werden, in der Gondel waren diese sehr schwach, leicht über dem Rauschpegel. Da der Pegel aller anderen Signale in diesem Frequenzbereich unter dem Grenzwert lag, ist davon auszugehen, dass der Grenzwert durch die Anlage eingehalten wird.

6.8 4,900 – 5,000 GHz

Der Grenzwert wird in diesem Frequenzbereich eingehalten.

7 Leistungswerte der Anlage

Die von der Fa. Vestas dankenswerterweise zur Verfügung gestellten Werte der erzeugten Leistung der WEA sind in nachfolgender Abbildung dargestellt.



Abbildung 7-1: Leistungswerte der Anlage während der Messungen

Legende:

- Blau: Rundscan- und Zenit-Messungen
- Rot: Messungen bei eingeschalteter Anlage in 135m Entfernung
- Orange: Messungen im Turm (links) und in der Gondel (rechts) bei eingeschalteter Anlage
- Grün: Messungen bei ausgeschalteter Anlage

8 Fazit

Am Standort der WEA waren externe Störsignale vorhanden, die den Nachweis der Grenzwerte deutlich komplexer gemacht haben. Das Messkonzept musste während der Messungen angepasst werden. Durch Messungen im Turm und in der Gondel der WEA konnte ermittelt werden, dass nur im Turm der Anlage in 408MHz und 611 MHz Signale vorhanden sind, mit denen eine Grenzwertüberschreitung möglich ist. Durch die Messungen in 10m von der Anlage konnte aufgezeigt werden, dass der Metallturm der Anlage diese Signale ausreichend dämpft, sodass während der Messungen durch eine ganzheitliche Analyse aller Messergebnisse die Einhaltung der Grenzwerte in allen Frequenzbereichen nachgewiesen werden konnte. Nachfolgend werden Restrisiken und Empfehlungen zu Maßnahmen, mit denen die Restrisiken reduziert werden können, beschrieben.

8.1 Restrisiken

Nach Durchführung der Messungen bestehen folgende Restrisiken, die während der Messung nicht untersucht werden konnten:

8.1.1 Vertikale Spalten in der geplanten Anlage

Die geplante Anlage hat eine Nabenhöhe von 149m, sodass die Ringe der beiden unteren Segmente des Turmes aus transporttechnischen Gründen aus 3 Teilen bestehen. Diese werden Vor-Ort durch einen vertikalen Flansch miteinander verschraubt (vgl. Kapitel 9). Es wird empfohlen den dadurch entstehenden sehr dünnen, ca. 55m hohen vertikalen Spalt funktechnisch wirksam zu verschließen, um die HF-Dämpfung des Turmes zu erhöhen. Dies kann beispielsweise mit einem metallenen U-Profil, das über die gesamte Länge des Spaltes über den Spalt angebracht und seitlich verschraubt wird, erfolgen. Eine genauere Lösung sollte durch den zuständigen Planer noch erarbeitet werden.

8.1.2 Unterschiedliche Leistung der Anlage während der Messungen

Da die erzeugte Leistung von der Windgeschwindigkeit abhängig ist, veränderte sich die Leistung der Anlage während der Messung und lag zwischen 10% und 50% der maximalen Leistung. Es ist zu erwarten, dass dies nur einen Einfluss auf die Störaussendung der energietechnischen Komponenten hat und die Störaussendung der IT-Geräte nicht verändert. Es kann keine zuverlässige Aussage getroffen werden, ob bei einer höheren erzeugten Leistung eine höhere Störaussendung der Anlage im Frequenzbereich oberhalb von 400 MHz zu erwarten ist.

8.1.3 Keine Energie-Erzeugung während der Messung in der Gondel

Aus Sicherheitsgründen ist der Aufenthalt in der Gondel bei aktiver Energieerzeugung nicht gestattet. Es kann daher derzeit keine zuverlässige Aussage getroffen werden, ob dadurch eine Grenzwertüberschreitung möglich ist.

8.1.4 Zusammenfassung der Rest-Risiken

Es ist zu erwarten, dass das erste Restrisiko durch die empfohlenen Maßnahmen minimiert werden kann. Ausgehend von Messergebnissen ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Restrisiken 2 und 3 zu einer Überschreitung der Grenzwerte der ITU-R-Empfehlung RA 769 führen können, relativ gering, wegen der Komplexität der Anlage und fehlenden Informationen zum Aufbau können jedoch keine zuverlässigen Aussagen hierzu getroffen werden. Diese Restrisiken sollten mit dem Max-Planck-Institut besprochen werden.

8.2 Weitere Empfehlungen

8.2.1.1 Schlitze in der Tür

Die Eingangstür beinhaltet horizontale Lüftungsschlitze, wie in nachfolgender Abbildung dargestellt ist.



Abbildung 8-1: Tür der WEA

Es wird empfohlen, die Lüftungsschlitze von der Innenseite mit einem engmaschigen Gitter zu schließen.

8.2.2 Steuerrechner in der Gondel

Die Steuerrechner in der Gondel sollten zur Minimierung der Störaussendung in einem umseitig geschlossenen Metallgehäuse (oder in einem Gehäuse aus engmaschigen Metallgitter ($\leq 5\text{mm}$)) installiert werden.

8.2.3 Begleitung des Aufbaus der Anlage

Es wird empfohlen, die Realisierung der empfohlenen Maßnahmen beim Aufbau der Anlage zu begleiten, um die korrekte Ausführung sicherzustellen. Nach Aufbau der Anlage ist es sinnvoll, die Einhaltung der Störaussendungsgrenzwerte messtechnisch nachzuweisen und den Nachweis dem Max-Planck-Institut zur Revision vorzulegen.



10 Anhang 2: Zusätzliche Kalibrierung der Grenzwerte

Die Rauschanzeige wurde mit und ohne Transducer-Faktoren mit dem Messsystem, wie in Abbildung 3-3 dargestellt aufgenommen. Die Ergebnisse sind in nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

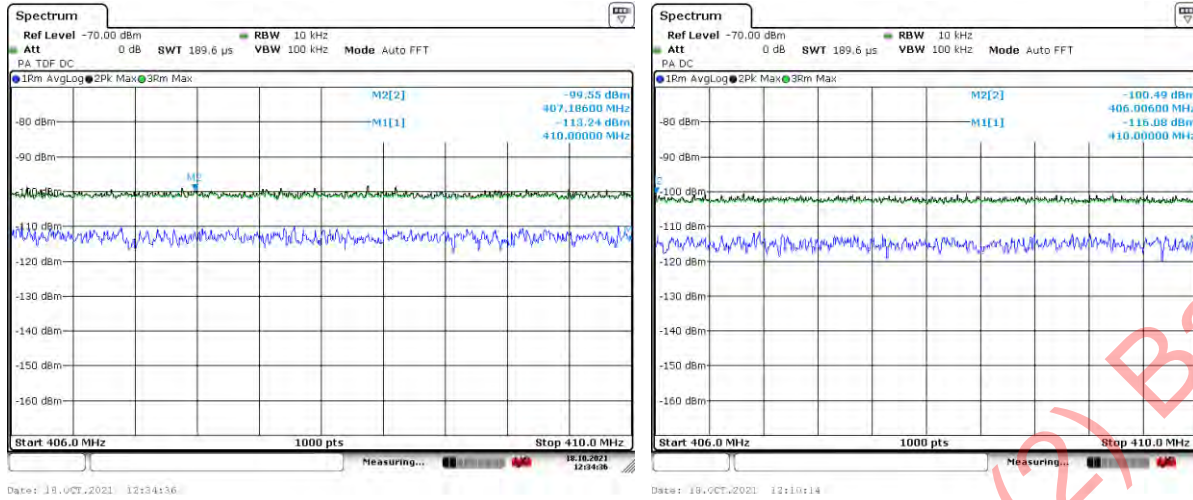


Abbildung 10-1: Direkter Vergleich der Rauschpegelanzeige mit (links) und ohne (rechts) Transducer-Faktoren für 410 MHz Frequenzbereich

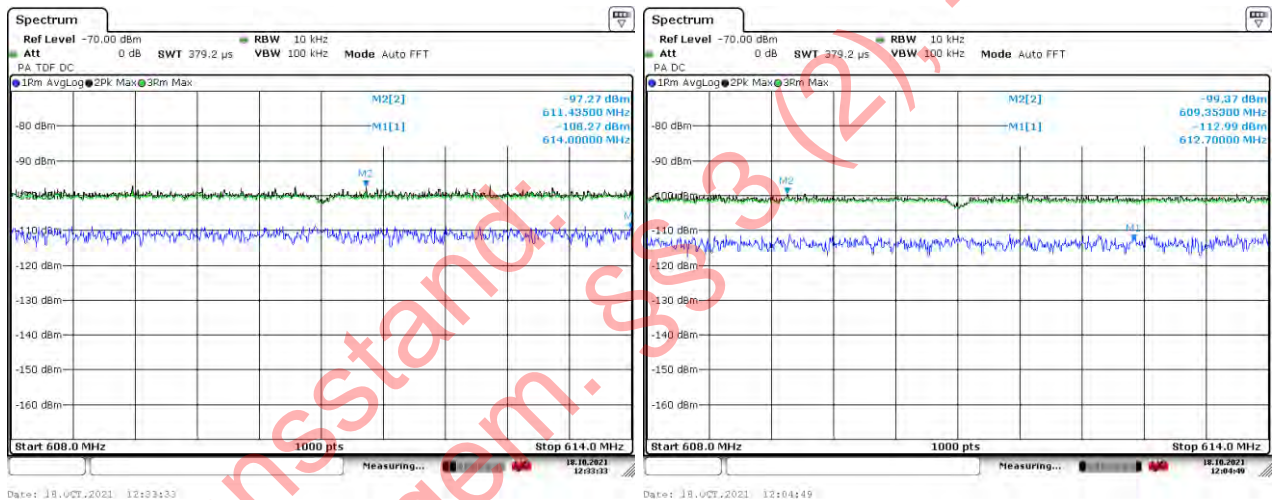


Abbildung 10-2: Direkter Vergleich der Rauschpegelanzeige mit (links) und ohne (rechts) Transducer-Faktoren für 610 MHz Frequenzbereich

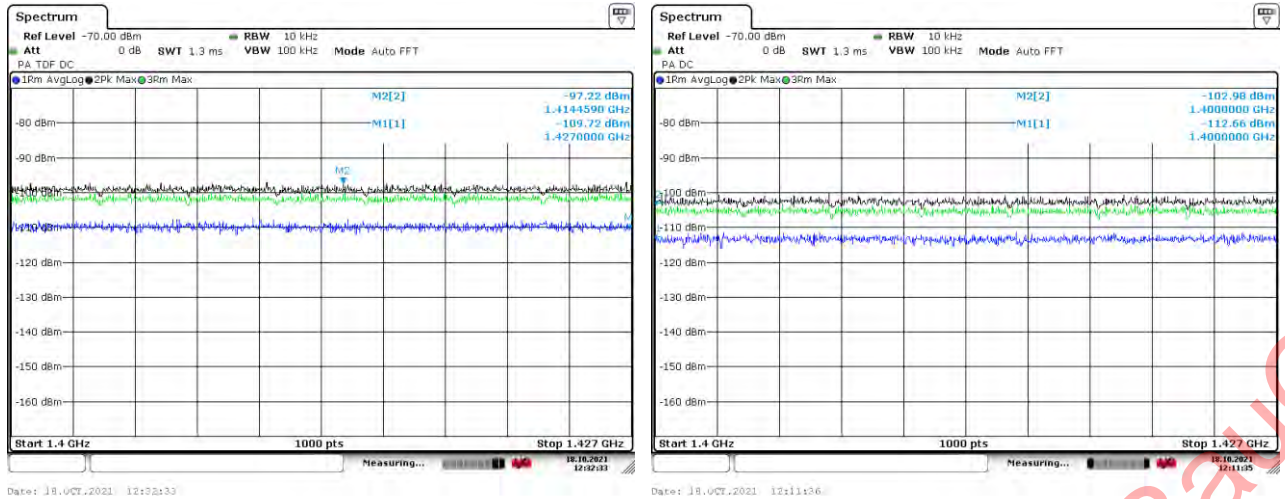


Abbildung 10-3: Direkter Vergleich der Rauschpegelanzeige mit (links) und ohne (rechts) Transducerfaktoren für 1410 MHz Frequenzbereich

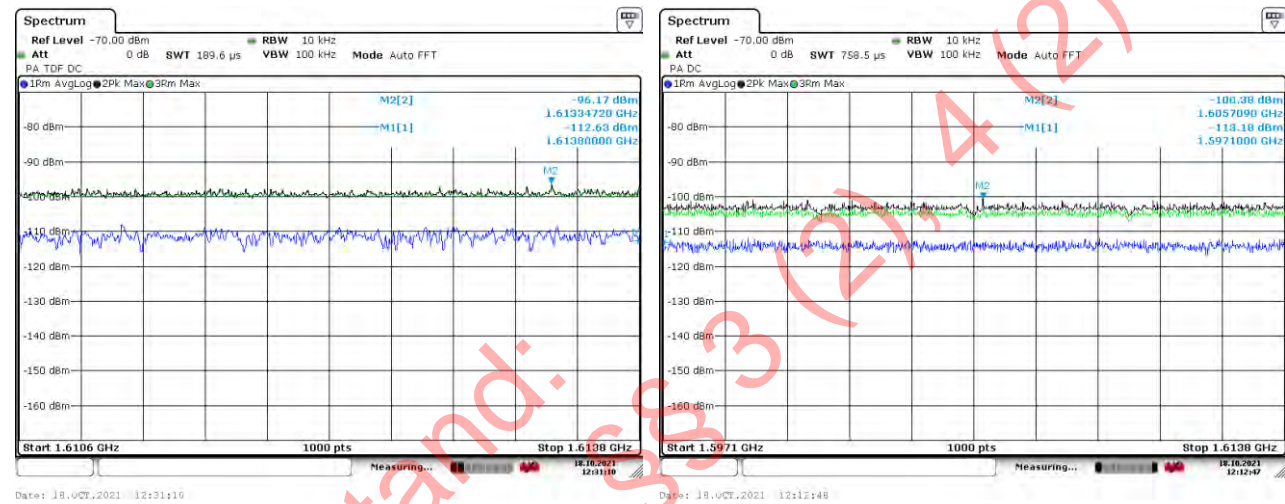


Abbildung 10-4: Direkter Vergleich der Rauschpegelanzeige mit (links) und ohne (rechts) Transducerfaktoren für 1620 MHz Frequenzbereich

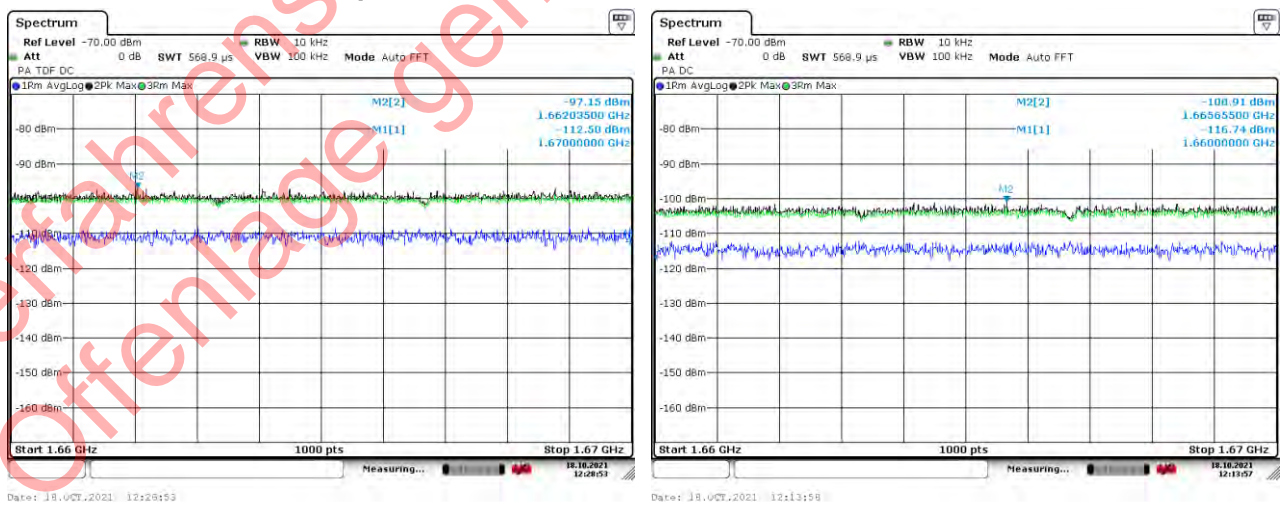


Abbildung 10-5: Direkter Vergleich der Rauschpegelanzeige mit (links) und ohne (rechts) Transducerfaktoren für 1665 MHz Frequenzbereich

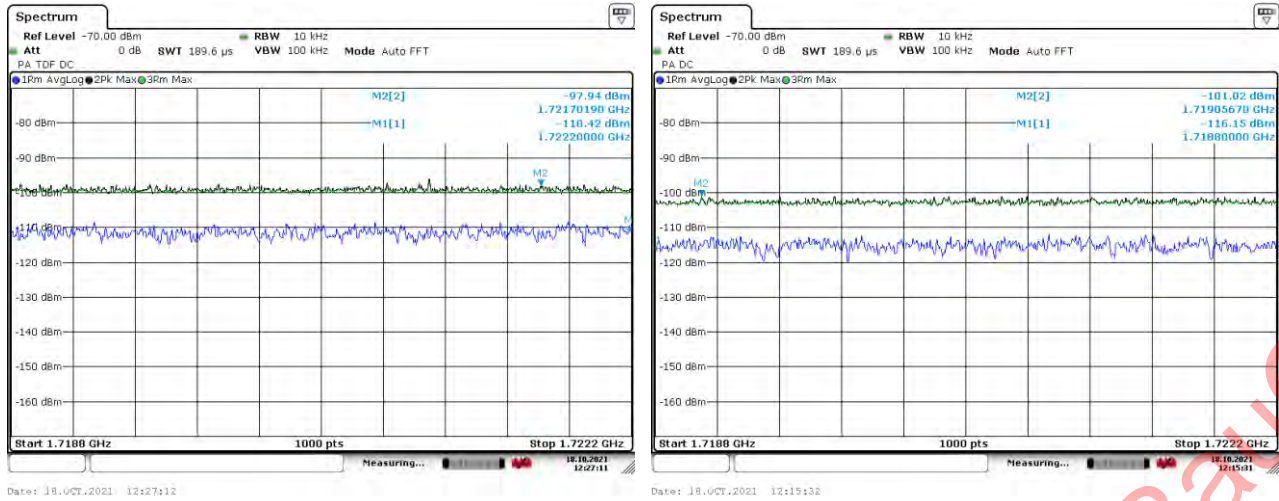


Abbildung 10-6: Direkter Vergleich der Rauschpegelanzeige mit (links) und ohne (rechts) Transducer-Faktoren für 1720 MHz Frequenzbereich

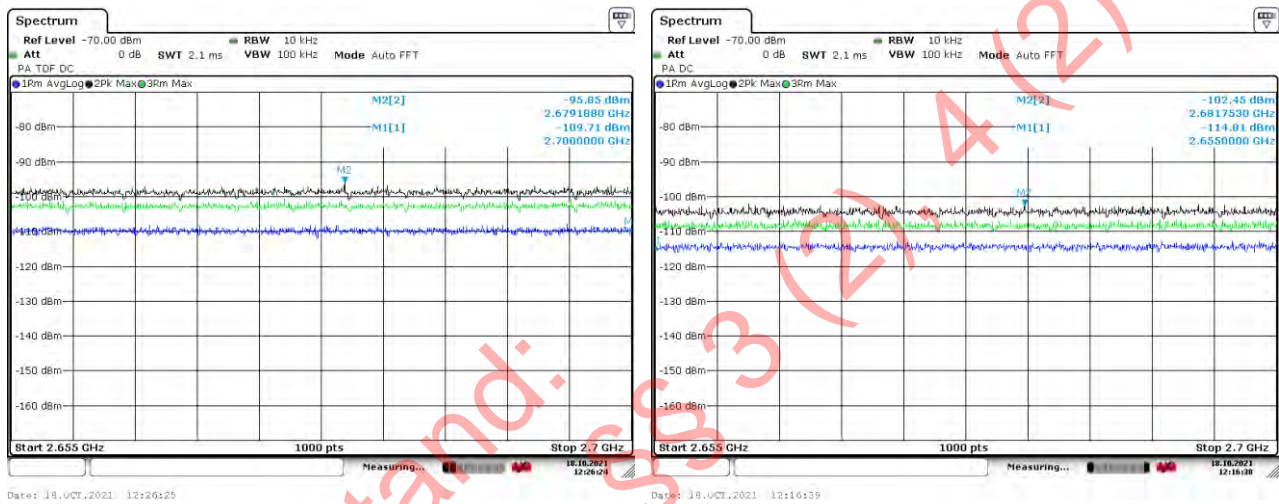


Abbildung 10-7: Direkter Vergleich der Rauschpegelanzeige mit (links) und ohne (rechts) Transducer-Faktoren für 2660 MHz Frequenzbereich

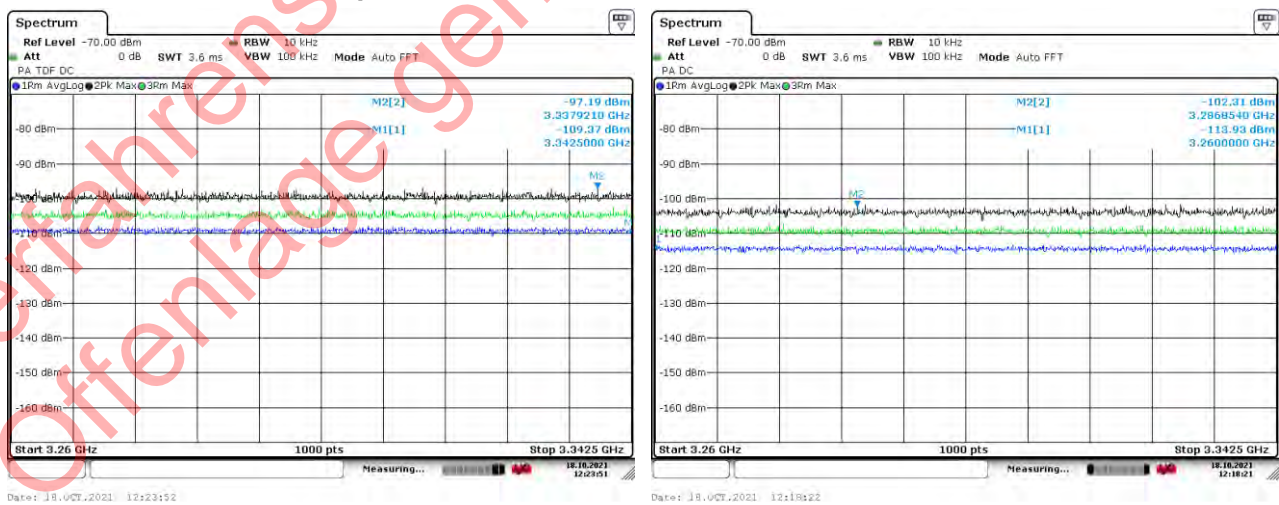


Abbildung 10-8: Direkter Vergleich der Rauschpegelanzeige mit (links) und ohne (rechts) Transducer-Faktoren für 3300 MHz Frequenzbereich

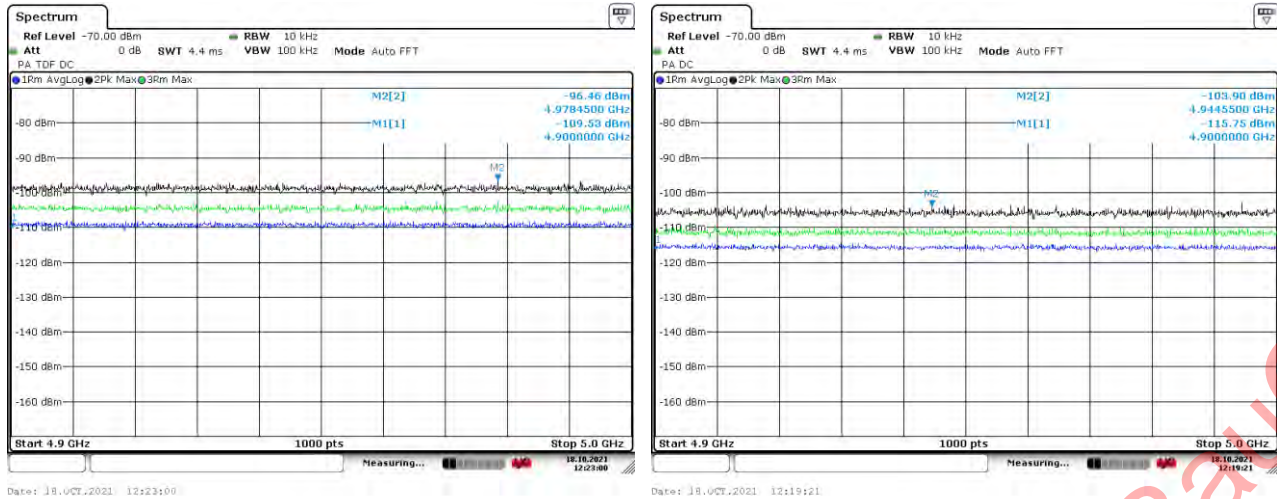


Abbildung 10-9: Direkter Vergleich der Rauschpegelanzeige mit (links) und ohne (rechts) Transducer-Faktoren für 4950 MHz Frequenzbereich

Wie den Abbildungen zu entnehmen ist, ist die Rauschpegelanzeige mit Transducer-Faktoren in allen Frequenzbereichen zwischen 400 MHz und 5000MHz höher, obwohl die Transducer-Faktoren nur bis 30 MHz definiert sind. Es handelt sich somit hierbei um einen rechnerischen Korrektur-Faktor. Um den Einfluss dieses Faktors auszuschließen, wurde zur genaueren Kalibrierung ein Test-Signal mit einem Pegel von -100 dBm in jedem Frequenzbereich eingespeist. Aus diesen Messungen wurden Korrektur-Faktoren ermittelt und der angepasste Grenzwert berechnet. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Frequenz, MHz	Korrekturfaktor, dB	P FSV30 für 175m, dBm/10kHz	Angepasster Wert, dBm / 10 kHz
408	2,4	-106,4	-104,0
611	3,1	-104,5	-101,4
1413	3,4	-103,6	-100,2
1624	3,0	-101,2	-98,2
1665	4,0	-100,9	-96,9
1720	3,7	-100,6	-96,8
2675	5,0	-98,5	-93,5
3300	5,2	-101,7	-96,6
4995	6,6	-97,8	-91,2

11 Anhang 3: Daten der Antennen und Verstärker

11.1 Antenne 9120G (wird von 400 MHz bis 2000 MHz eingesetzt)

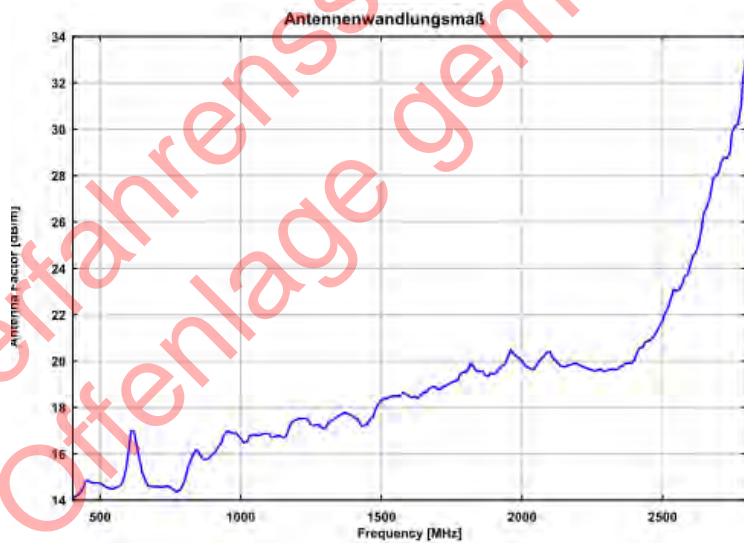
Doppelsteg Breitband-Hornantenne
Double Ridged Broadband Horn Antenna



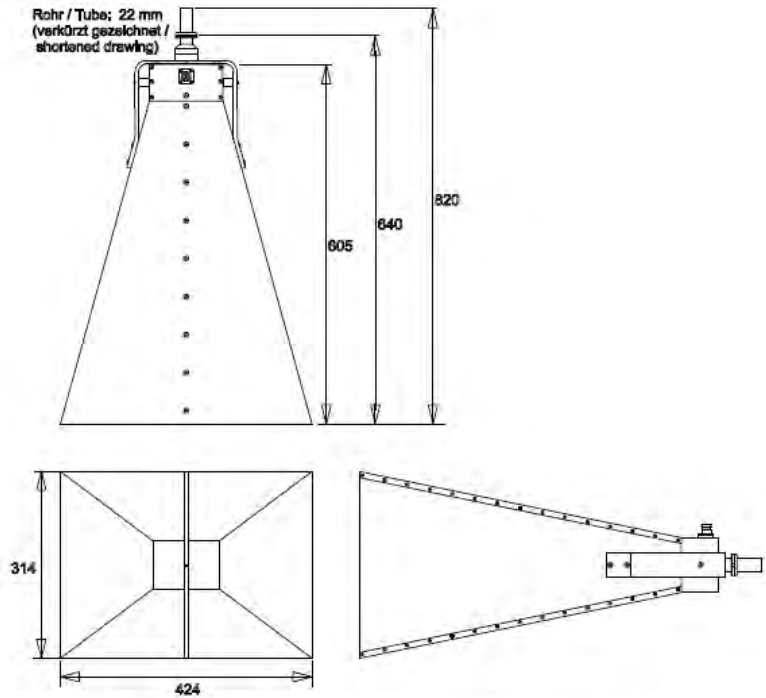
Beschreibung:
 Linear polarisierte Doppelsteg Breitband Hornantenne in Aluminiumausführung für Empfangs- und Sendeanwendungen. Für den Betrieb bei hohen Leistungen ist die Antenne mit einer 7/16 Buchse ausgestattet.

Description:
 Linear polarized double ridged broadband horn antenna for receive and transmit applications made of aluminium. The antenna is equipped with a 7-16 connector to withstand high power for immunity testing.

Technische Daten:		Specifications:	
Frequenzbereich, nominell:	400 MHz...2.8 GHz	Nominal Frequency Range:	
Isotropiegewinn (Fernfeld):	8 dBi ... 18 dBi	Isotropic Gain (Farfield):	
Antennenfaktor (Fernfeld):	14...32 dB/m	Antenna Factor (Farfield):	
Impedanz, nominell:	50 Ω	Nominal Impedance:	
Stehwellenverhältnis SWR typisch:	2	Standing Wave Ratio SWR typical:	
Stehwellenverhältnis SWR max.:	3.5	Standing Wave Ratio SWR max.:	
Vor- Rückverhältnis:	typ. 25 dB	Front to Back Ratio:	
Polarisationsentkopplung:	typ. > 25 dB	Cross Polarisation:	
3 dB Öffnungswinkel typ.(E-Ebene):	45°	3 dB Beamwidth typ. (E-Plane):	
3 dB Öffnungswinkel typ.(H-Ebene):	45°	3 dB Beamwidth typ. (H-Plane):	
Max. Eingangsleistung:	3 kW @ 400 MHz	Max. Input Power:	
7-16 Buchse	1.5 kW @ 2 GHz	7-16 connector female	
Halterung (Zentralbefestigung):	3/8", M12	Center Mount:	
Breite x Länge x Dicke:	550 x 990 x 460 mm	Width x Length x Thickness:	
Gewicht:	10 kg	Weight:	
Empfohlenes Zubehör:	AM 9144 Mast	Recommended Accessories:	

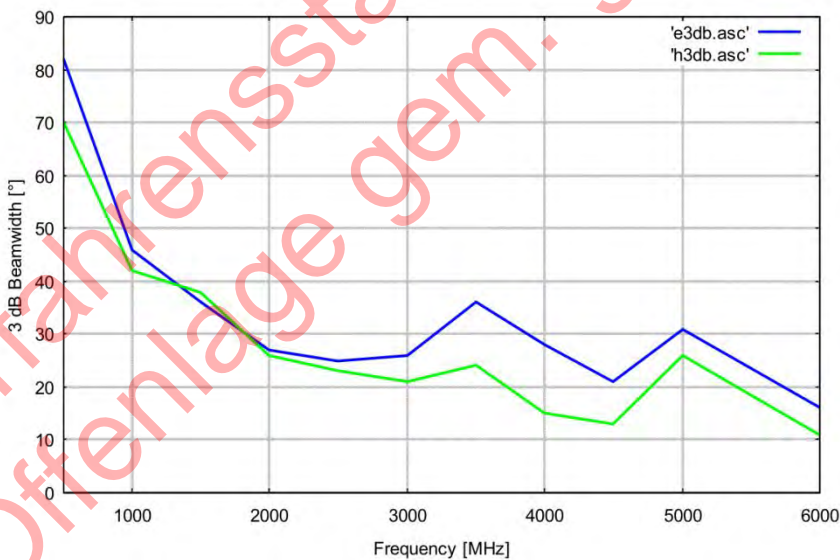


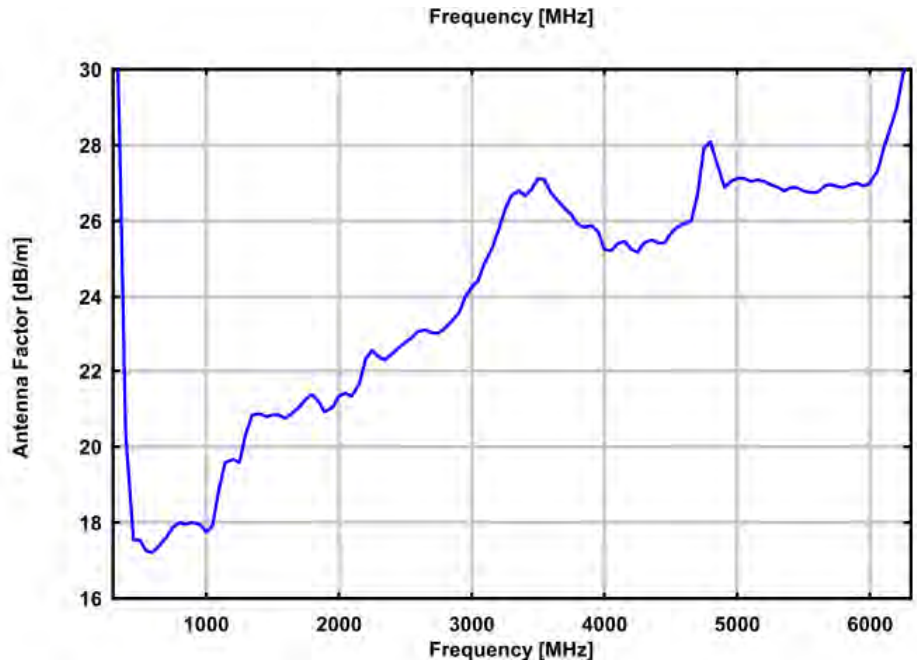
11.2 Antenne 9120E (wird von 2000 MHz bis 5000 MHz eingesetzt)



Frequenz / Frequency:
Gewinn / Gain:
Wandlungsmaß / Antenna factor:
VSWR typ.:
Maße / Dimensions (B x H x T):
22 mm Rohr / 22 mm Tube:
Gewicht / Weight:
Max. Eingangsleistung /
Max. Input Power:
Anschluß / Connector:
Material:

0.5 - 6 (8) GHz
6 - 18 dBi
19 - 29 dB/m
< 2
424 x 314 x 820 mm
22 x 185 mm
4.1 kg
Begrenzt nur durch Steckverbinder /
Limited only by N-connector
N-Buchse / N-female
Aluminium



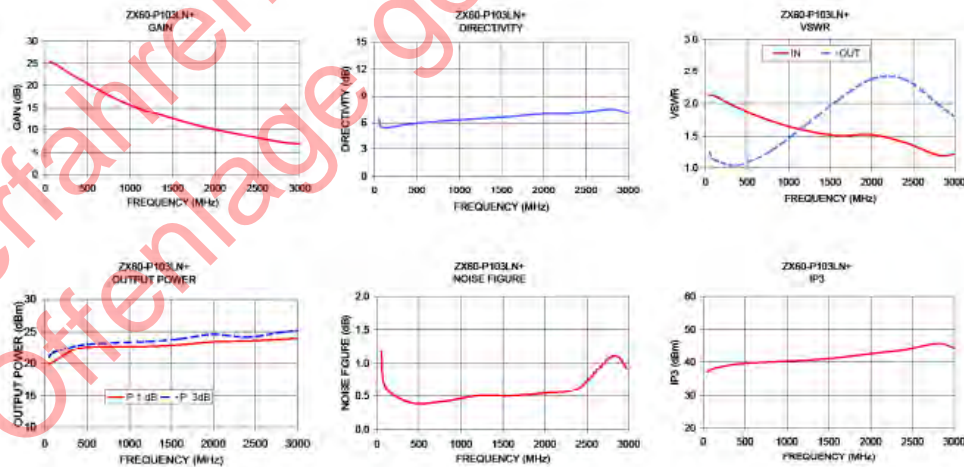


11.3 Low Noise Amplifier Mini-Circuit ZX60-P103LN+ (LNA1)

Typical Performance Data/Curves

ZX60-P103LN+

FREQUENCY (MHz)	GAIN (dB)	DIRECTIVITY (dB)	VSWR (1:1)		POUT at 1dB COMP. (dBm)	NOISE FIGURE (dB)	OUTPUT IP3 (dBm)
			IN	OUT			
50.00	25.29	6.46	2.13	1.25	19.3	1.2	37.0
100.00	25.05	5.47	2.12	1.19	20.1	0.6	37.9
400.00	21.49	5.32	1.93	1.04	22.4	0.4	39.4
800.00	17.37	6.18	1.73	1.29	22.7	0.4	40.1
1200.00	14.22	6.42	1.69	1.67	22.7	0.5	40.6
1600.00	11.32	6.09	1.51	2.08	23.0	0.5	41.4
2000.00	10.03	6.98	1.50	2.07	23.3	0.5	42.6
2400.00	8.60	7.05	1.41	2.37	23.5	0.6	43.8
2800.00	7.25	7.43	1.23	1.90	23.8	1.1	45.7
3000.00	6.95	7.01	1.24	1.86	24.0	0.9	44.3

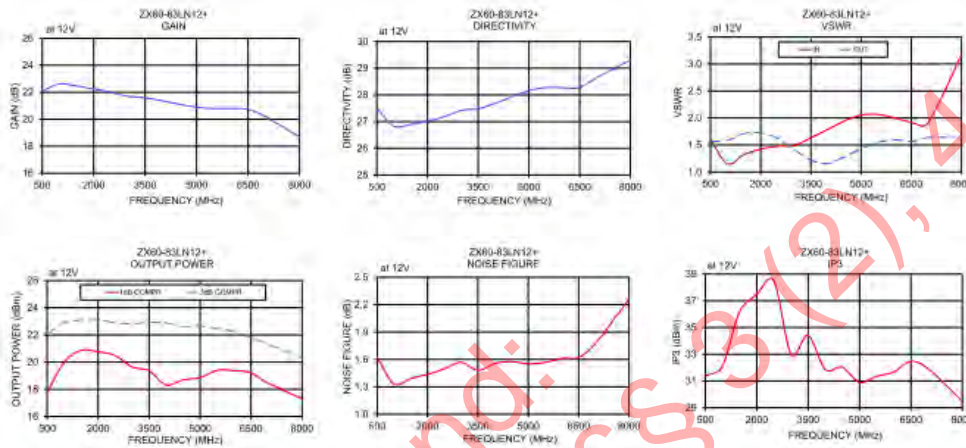


11.4 Low Noise Amplifier Mini-Circuit ZX60-83LN12+ (LNA2)

Typical Performance Data/Curves

ZX60-83LN12+

FREQUENCY (MHz)	GAIN (dB)	DIRECTIVITY (dB)	VSWR (-1)		POWER OUT @ 1 dB COMPR. (dBm)	NF (dB)	IP3 (dBm)
	12V	12V	12V		12V	12V	12V
			IN	OUT			
500	22.09	27.51	1.60	1.56	17.80	1.63	31.37
1000	22.61	26.83	1.15	1.58	18.86	1.33	32.12
1500	22.46	26.69	1.39	1.71	20.86	1.39	36.20
2000	22.24	27.02	1.42	1.72	20.76	1.44	37.47
2500	22.00	27.19	1.47	1.62	20.46	1.50	38.48
3000	21.70	27.42	1.49	1.61	19.64	1.57	33.01
3500	21.59	27.48	1.83	1.22	19.36	1.46	34.41
4000	21.36	27.68	1.79	1.15	19.31	1.56	31.88
4500	21.11	27.93	1.95	1.29	18.70	1.58	32.03
5000	20.89	28.16	2.05	1.43	18.66	1.55	30.90
5500	20.78	28.26	2.07	1.55	19.40	1.57	31.35
6000	20.79	28.27	2.01	1.59	19.37	1.61	31.68
6500	20.73	28.28	1.92	1.57	19.22	1.62	32.48
7000	20.20	28.64	1.90	1.64	18.44	1.77	31.02
8000	18.67	28.31	2.17	1.64	17.31	2.28	29.47



Verfahrensstandard: § 5 (2) BauGB
 Offenlage gem. § 5 (2) BauGB