



**Inhaltsverzeichnis:**

<b>1</b>	<b>Vorbemerkung/Zielsetzung bzgl. des Radars Putgarten.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Vorbemerkung/Zielsetzung bzgl. Schiffsradare.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Gesamtbeurteilung/Zusammenfassung der Ergebnisse bzgl. des Radars Putgarten.....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Gesamtbeurteilung/Zusammenfassung der Ergebnisse bzgl. Schiffsradare.....</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Bewertung bzgl. des Radars Putgarten .....</b>	<b>14</b>
5.1	Aufgabenbeschreibung.....	14
5.2	Referenzuntersuchung .....	15
5.3	Untersuchungsverfahren .....	18
5.4	Technische Analyse .....	20
5.4.1	Radartechnische Randbedingungen.....	27
5.4.2	Bewertung des Einflusses von Einzelanlagen und Gruppierungen .....	31
5.4.3	Bewertung des Gesamteinflusses des Windparks .....	47
<b>6</b>	<b>Bewertung bzgl. Schiffsradare .....</b>	<b>51</b>
6.1	Betrachtungsgegenstand.....	51
6.2	Untersuchungsmethoden zum Störpotential der geplanten Windenergieanlagen .....	53
6.3	Bewertung des Einflusses des Windparks.....	56
6.3.1	Ausbreitungsanalysen .....	56
6.3.2	Kreisbogenanalysen.....	60
6.3.3	Kreisanalysen.....	66
6.3.4	Winkelfehleranalysen .....	88
	<b>Anhang A: Abkürzungen.....</b>	<b>91</b>

## **1 Vorbemerkung/Zielsetzung bzgl. des Radars Putgarten**

***Gegenüber der Untersuchung zum Offshore-Windpark ARCADIS Ost 1 gemäß Gutachten COEMC2-061/12 vom 15.03.2012 aus 58 Windenergieanlagen wurde die geänderte Anordnung mit einer reduzierten Anlagenanzahl von 28 Windenergieanlagen analysiert.***

Die Analyse eines möglichen Störpotentials gegenüber dem Radarsystem der Luftwaffe/Bundeswehr in Putgarten erfolgt nunmehr für einen geplanten Offshore-Windpark aus 28 Windenergieanlagen in der Ostsee. Im Rahmen der aktuellen Planungen zu diesem Windenergievorhaben des geplanten Offshore-Windparks erfolgt eine vergleichende Bewertung im Hinblick auf die Störfreiheit gemäß den Forderungen zur Vermeidung von radarwirksamen Verschattungserscheinungen, die im Schwerpunkt für 3-D-Radarsysteme relevant sind.

Die vorliegende Untersuchung stützt sich zur Klärung der technischen Möglichkeiten im Hinblick auf die Sicherstellung der Erhaltung der heutigen (Stör-) Situation unter Berücksichtigung der geplanten WEAs auf vergleichbare Vorhaben in der Umgebung von Radarortungsanlagen zur Luftverteidigung sowie von Flugsicherungsradaranlagen der zivilen und der militärischen Flugsicherung ab.

In der vorliegenden Untersuchung werden die technischen Betriebsparameter der Radarortungsanlage Putgarten – die einer Sicherheitseinstufung unterliegen – zugrunde gelegt. Eine ausführliche Beschreibung der technischen Betriebsparameter und Aufgabenstellungen des Systems erfolgt aus diesem Grund nicht.

Die Beurteilung möglicher Störeinflüsse von Windenergieparks erfolgt grundsätzlich unter folgenden Kriterien für Radarsysteme:

- Messtechnisch feststellbare Radarverschattungen durch die geplanten WEAs
- Gerichtete Reflexionen

- Streufelderscheinungen, insbesondere infolge von Wechselwirkungen zwischen benachbarten Windenergieanlagen
- Bewertung der Streufeldintensität für einzelne WEAs als auch für mehrere WEAs unter Berücksichtigung deren Wechselwirkung
- Messtechnisch feststellbare Radarverschattungen durch die geplanten WEAs im Falle der notwendigen Berücksichtigung vorhandener räumlich vor- oder nachgelagerter WEAs im Hinblick auf 3-D-Radarsysteme.
- Konkrete Parameter des LV-Radarsystems: Antennenposition, Antennenhöhe, Azimutauflösung, Betriebsfrequenzbereich
- Anforderungen der DFS (Deutsche Flugsicherung) sowie der Bundeswehr zur Vermeidung radarwirksamer Verschattungen bei Primärradaren

Berücksichtigt sind weiter die Referenzuntersuchungen gemäß Kapitel 5.2.

Die Bewertung der Ergebnisse zum radarwirksamen Verschattungseinfluss bei Luftverteidigungsradarsystemen erfolgt im Hinblick auf die Möglichkeiten einer messtechnischen Erfassbarkeit dieser Einflüsse. Grundlage sind die bisher vorliegenden messtechnischen Untersuchungen von Random-Traffic-Aufzeichnungen, sowie aufgrund von Feldvermessungsberichten zu allen stationären LV-Radarstandorten der Bundeswehr. Eine Beurteilung, ob diese Einflüsse zu betrieblich relevanten Störungen der Radarortungsanlage führen, erfolgt im Rahmen dieser Untersuchung nicht, da hierzu u. a. eine sehr konkrete Bewertung der Aufgaben des Radarortungssystems erforderlich ist.

Es sei darauf hingewiesen, dass eine Minderung der messtechnisch mit Hilfe von SASS-C ermittelbaren Entdeckungswahrscheinlichkeit zur Überprüfung von Radarverschattungen in der vorliegenden Untersuchung als nicht feststellbar erachtet wird, wenn die Reichweitenminderung geringer ist als der radiale Abstand bzw. Versatz zweier Rangefenster von 5 NM. Das ungestörte Feld dient dabei als Bezug. Die Radarreichweite ist dabei auf 100 % normiert. Die LFZ Position wird in ca. 130 NM angenommen. Eine messbare Beeinflussung liegt danach bei einer Reichweitenminderung auf unter 96,2 % vor.

Potentiell störrelevant sind im Standortbereich des geplanten Windparks neben der Säulen- und der Nabenkonstruktion die Rotorblätter. Radarwirksame Verschattungen können infolge zu geringer Distanzen zum Radaranlagenstandort vorliegen. Streufelder und gerichtete Reflexionen durch metallische Blitzschutzstrukturen können eine unzuverlässige bzw. ungenaue Zielpositionserkennung bewirken.

### **Es wurden die folgenden Detail-Untersuchungen durchgeführt:**

Für die geplanten Aufstellungsorte wurde der Einfluss der Windenergieanlagen vom Typ Vestas V174-9,5 MW mit einer Nabhöhe von ca. 107 m über MSL für verschiedene Teilanordnungen aus mehreren Windenergieanlagen für die zukünftige Situation unter radartechnischen Aspekten geprüft. Auf dieser Grundlage erfolgen Rückschlüsse zu den Wechselwirkungen zwischen den künftigen Einflüssen auf das Radarsystem unter den vorgenannten technischen Aspekten.

Die Auswahl basiert auf der Auswertung der geplanten Standorte unter dem Aspekt der geringsten Azimutabstände und der damit verbundenen stärksten Verschattungserscheinungen bzw. Reichweitenminderungen. Auf dieser Grundlage erfolgen Rückschlüsse zu den Wechselwirkungen des gesamten Windparks auf das Radarsystem unter den vorgenannten technischen Aspekten.

### **Zielsetzung:**

Es werden im Ergebnis Vorschläge formuliert und begründet, an welchen Orten eine zusätzliche Windenergieanlage unter den genannten radartechnischen Kriterien als zulässig erachtet wird. Das Gutachten dient zur Vorlage und Entscheidungsgrundlage im Rahmen des Genehmigungsverfahrens bei der zuständigen WBV – Wehrbereichsverwaltung – sowie der Luftwaffe als Betreiber der Radaranlage in Putgarten. Eine Bewertung der Radaranlagen erfolgt nicht. Die angewandten Kriterien setzen voraus, dass eine Filterung von Windenergieanlagen zur Unterscheidung von Flugzielen durch den Radarsensor nicht erfolgt und sind damit auf alle Radarsysteme dieses Typs oder vergleichbarer Systeme anwendbar.

## **2 Vorbemerkung/Zielsetzung bzgl. Schiffsradare**

Das Bauvorhaben „ARCADIS Ost 1“ ist nach den Forderungen der Genehmigungsbehörden ausreichend radarreflexionsarm auszuführen, um Störeinflüsse auf Schiffsradaranlagen im Umgebungsbereich des Offshore-Windparks auszuschließen.

***Bezüglich der Bewertung für Schiffsradare wurden die Analysen für die Untersuchung mit 64 WEAs gemäß des abgeschlossenen Gutachtens MEA62-166/11 als worst-case Anordnung beibehalten, da die Reduzierung der Anlagenanzahl radartechnisch hierbei von Vorteil ist. Die Verschiebung einzelner WEA-Standorte hat auf die Ergebnisse bzgl. der Schiffsradaruntersuchung nur einen vernachlässigbaren Einfluss.***

### **Zielsetzung:**

Das Ziel der vorliegenden gutachterlichen Untersuchung ist es, für die vorgesehene Planung des BV „ARCADIS Ost 1“ das Radarstörpotential zu ermitteln und erforderlichenfalls ein auf die Möglichkeiten des Auftraggebers abgestimmtes Radarkonzept auszuarbeiten.

Die Erzeugung von Reflexions- und Streufeldern durch die Rotorblätter und die Säulen/Generatornabenkonstruktion der Windenergieanlagen wird für verschiedene räumliche Anordnungen von Windenergieanlagen im Hochfrequenzfeld rechnergestützt untersucht. Grundlage sind die durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellten Unterlagen.

Die Beurteilung möglicher Störeinflüsse von Windenergieparks und Windenergieanlagen erfolgt daher unter folgenden Kriterien für Radarsysteme:

- Feststellbare Radarverschattungen durch die geplanten WEAs
- Gerichtete Reflexionen
- Streufelderscheinungen, insbesondere infolge von Wechselwirkungen zwischen benachbarten Windenergieanlagen

- Bewertung der Streufeldintensität für einzelne WEAs als auch für mehrere WEAs unter Berücksichtigung deren Wechselwirkung
- Bewertung der Störeinflüsse durch die WEAs in Bezug auf hervorgerufene Winkelfehler

Potentiell störrelevant sind im Standortbereich des geplanten Offshore-Windparks neben der Säulen- und der Nabenkonstruktion die Rotorblätter. Radarwirksame Verschattungen können infolge zu geringer Distanzen und zu starker Verdichtung benachbarter WEA bzgl. einer Schiffsradarposition und einer Objektposition vorliegen. Streufelder und gerichtete Reflexionen können zusätzlich ein Spiegelziel/Falschziel generieren oder eine unzuverlässige bzw. ungenaue Zielpositionszuordnung bewirken.



### 3 Gesamtbeurteilung/Zusammenfassung der Ergebnisse bzgl. des Radars Putgarten

Um eine Situation sicherzustellen, die für die Radaranlage der Bundeswehr bzw. des Luftwaffenführungskommandos am Standort Putgarten eine der bisherigen Betriebsituation gleichwertige Beeinflussung schafft, ist die nachstehende WEA-Anordnung gemäß Abbildung 1 und Tabelle 1 zulässig:

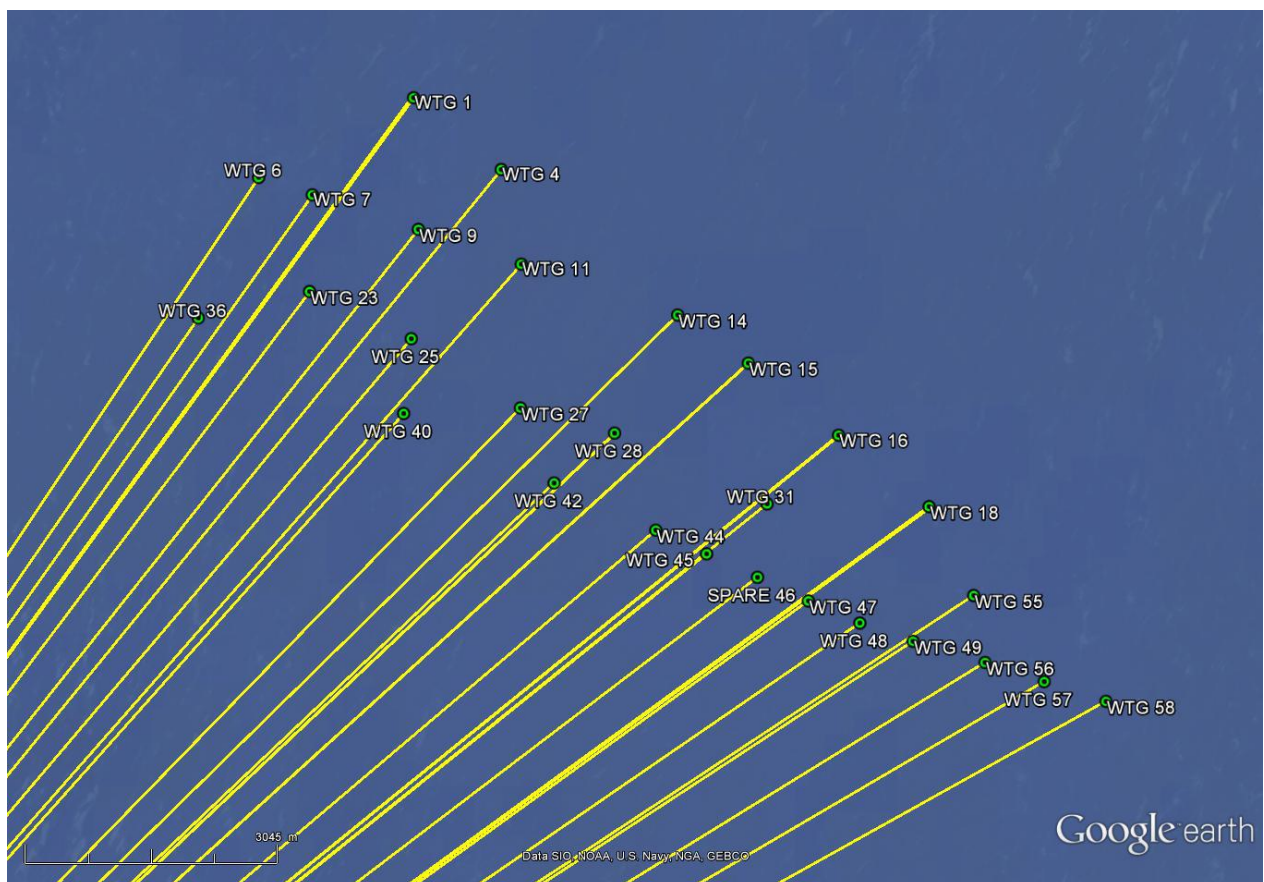


Abbildung 1: Grafische Übersicht auf die gekennzeichneten 28 geplanten Windenergieanlagen. Die Einstrahlungsrichtungen bzgl. des Radars Putgarten sind gelb gekennzeichnet.



Standort	Anlage	WGS 84 Nord	WGS 84 Ost	Naben- höhe [m]	Elevation [°]	Distanz [m]	Winkel [°]
WTG 1	Vestas V174	54° 51' 13,06"	13° 36' 46,53"	107	0,04	24726,13	35,93
WTG 4	Vestas V174	54° 50' 45,51"	13° 37' 47,80"	107	0,04	24721,22	39,14
WTG 6	Vestas V174	54° 50' 42,24"	13° 35' 3,52"	107	0,05	22891,72	33,61
WTG 7	Vestas V174	54° 50' 35,74"	13° 35' 40,19"	107	0,05	23097,84	35,24
WTG 9	Vestas V174	54° 50' 22,29"	13° 36' 51,80"	107	0,05	23534,59	38,36
WTG 11	Vestas V174	54° 50' 8,72"	13° 38' 1,32"	107	0,04	24011,34	41,31
WTG 14	Vestas V174	54° 49' 48,89"	13° 39' 46,86"	107	0,04	24867,51	45,50
WTG 15	Vestas V174	54° 49' 29,34"	13° 40' 33,40"	107	0,03	25060,89	47,81
WTG 16	Vestas V174	54° 49' 0,84"	13° 41' 33,55"	107	0,03	25307,98	50,92
WTG 18	Vestas V174	54° 48' 32,33"	13° 42' 33,63"	107	0,03	25627,29	53,96
WTG 23	Vestas V174	54° 49' 58,15"	13° 35' 38,30"	107	0,06	22140,47	36,91
WTG 25	Vestas V174	54° 49' 39,79"	13° 36' 46,98"	107	0,06	22465,63	40,28
WTG 27	Vestas V174	54° 49' 12,83"	13° 38' 0,63"	107	0,05	22737,44	44,17
WTG 28	Vestas V174	54° 49' 2,73"	13° 39' 4,12"	107	0,05	23329,81	46,70
WTG 31	Vestas V174	54° 48' 35,46"	13° 40' 47,04"	107	0,04	24168,85	51,14
WTG 36	Vestas V174	54° 49' 47,92"	13° 34' 23,11"	107	0,07	21097,32	34,52
WTG 40	Vestas V174	54° 49' 10,74"	13° 36' 41,81"	107	0,06	21728,41	41,63
WTG 42	Vestas V174	54° 48' 43,67"	13° 38' 23,30"	107	0,06	22394,93	46,52
WTG 44	Vestas V174	54° 48' 25,28"	13° 39' 31,92"	107	0,05	22931,99	49,66
WTG 45	Vestas V174	54° 48' 16,08"	13° 40' 6,16"	107	0,05	23224,55	51,17
SPARE 46	Vestas V174	54° 48' 6,91"	13° 40' 40,46"	107	0,05	23534,22	52,64
WTG 47	Vestas V174	54° 47' 57,71"	13° 41' 14,76"	107	0,05	23858,41	54,07
WTG 48	Vestas V174	54° 47' 49,09"	13° 41' 49,48"	107	0,04	24213,68	55,44
WTG 49	Vestas V174	54° 47' 41,93"	13° 42' 25,38"	107	0,04	24624,85	56,71
WTG 55	Vestas V174	54° 47' 59,68"	13° 43' 6,37"	107	0,03	25537,95	56,57
WTG 56	Vestas V174	54° 47' 33,65"	13° 43' 13,91"	107	0,03	25221,57	58,27
WTG 57	Vestas V174	54° 47' 26,14"	13° 43' 53,79"	107	0,03	25714,58	59,54
WTG 58	Vestas V174	54° 47' 18,42"	13° 44' 35,46"	107	0,03	26244,75	60,81

Tabelle 1: Koordinatenübersicht über die grün gekennzeichneten analysierten zulässigen Windenergieanlagen des Windparks.

Die zu erwartenden Reichweitenminderungen durch die vorgenannte Anordnung der grün gekennzeichneten WEAs erfüllt das Kriterium von 96,2 % für alle Planungsstandorte. D. h. messtechnisch nachweisbare Einflüsse durch die WEAs liegen nicht vor.

Bei der Realisierung der Planungsstandorte sind Ortsabweichungen in allen Richtungen gegenüber den Koordinaten gemäß Tabelle 1 in der Größenordnung des Säulendurchmessers – im unteren Höhenbereich – ohne Einfluss auf die Ergebnisse in allen Richtungen zulässig.

Für die vorliegende Radaranlage in Putgarten, die als 3-D-Radaranlage zur Luftverteidigung dient, können ohne zusätzliche Änderungen die geplanten Windenergieanlagen radartechnisch akzeptiert werden, da aufgrund der Untersuchungsergebnisse nur eine unerhebliche messtechnisch nicht feststellbare Reichweitenänderung gegenüber der heutigen Situation vorliegen wird.

Die Streufeldeinflüsse bedingt durch die zukünftige Windparksituation mit den geplanten WEAs weisen eine geringe Intensitätszunahme auf, infolge derer keine feststellbaren Auswirkungen auf das Radarsystem zu erwarten sind.

Es sei darauf hingewiesen, dass auch bei Realisierung von nur einem Teil der untersuchten Planungsstandorte die Ergebnisse des Gutachtens gültig sind. Dabei ist für jeden untersuchten Standort die genannte Maximaldimensionen für die geplanten Windenergieanlagenstandorte zu beachten.

#### **4 Gesamtbeurteilung/Zusammenfassung der Ergebnisse bzgl. Schiffsradare**

Die durchgeführten Untersuchungen konzentrieren sich unter verschiedenen Aspekten auf mit der Windparkplanung verbundene Reflexions- und Streufelder sowie Verschattungen mit dem Schwerpunkt für Radaranlagen, die sich auf Schiffen innerhalb der Hauptschifffahrtsrouten befinden.

In diesem Zusammenhang sind verschiedene Szenarien angenommen worden:

- a. Ausbreitungsanalysen des Radarfeldes in ausgedehnten Seegebieten.
- b. Analysen zur Intensitätsverteilung des Radarfelds entlang verschiedener Streckenpunkte in gleicher Distanz zum Sender. Dabei sind Aussagen zur Radar-Durchdringung der WEA-Anordnung möglich.
- c. Analysen zur Intensitätsverteilung des Radarfeldes entlang verschiedener Streckenpunkte auf einer Kreisbahn, die um die WEA-Anordnung angelegt ist. Dabei sind Aussagen zur Richtungsgenauigkeit einer Objektdetektion bei Durchdringung der WEA-Anordnung sowie seitlich der WEA-Anordnung möglich.

Die Untersuchungen gemäß den Ergebnissen aus Kapitel 6.3 zeigen, dass durch den geplanten Offshore-Windpark Beeinflussungen des Ausbreitungsfeldes durch Verschattung sowie Reflexionen und Streufelder hervorgerufen werden.

##### Verschattungen:

Einflüsse durch Verschattungen wirken sich hinter dem Windpark als schmale Verschattungssektoren mit geringerer Feldstärkeintensität aus. Dabei werden Wechselwirkungen und Überlagerungen zwischen den einzelnen WEA-Standorten wirksam. Infolge von Beugungserscheinungen liegt bei Distanzen von mehr als ca. 1000 m hinter einer verschattungswirksamen WEA-Standsäule nur eine geringe Verschattungswirkung vor, deren Ausprägung mit zunehmender Distanz der sendenden Radaranlage zurückgeht.

### Beugungserscheinungen:

Durch Beugungserscheinungen im Schattenbereich werden bei Distanzen von mehreren Kilometern zwischen WEA und der sendenden Radaranlage keine messtechnisch feststellbaren Winkelfehler bzgl. der Zuordnung einer Ziel- bzw. Objektposition hervorgerufen.

### Reflexionen:

Eine mögliche Beeinflussung durch den geplanten Windpark aufgrund von Reflexionen sowie Streuerscheinungen kann infolge der ausreichend gedämpften Reflexions- bzw. Streufeldintensitäten gegenüber dem direkten Feld ebenfalls ausgeschlossen werden. Gerichtete Reflexionen insbesondere durch Überlagerungen mehrerer WEA werden nicht festgestellt. Aufgrund der Lage und Entfernung des Windparks zu den Schiffsrouten würden potentielle Spiegelziele durch Reflexionen an den WEAs nur in einer ausreichend großen Distanz zu realen Schiffspositionen abgebildet und liegen somit außerhalb des relevanten Betrachtungsbereichs des Schiffsradars.

**Eine störowirksame Beeinflussung von Schiffsradaranlagen durch den geplanten Windpark ARCADIS Ost 1 insbesondere bei Schiffsbewegungen auf den vorgegebenen Schifffahrtsrouten kann nicht festgestellt werden. In diesem Zusammenhang ergibt sich auf der Grundlage der vorliegenden Ergebnisse nicht die Notwendigkeit, Empfehlungen zu Änderungen oder Optimierungen zu formulieren.**

Vertiefende, weitergehende Untersuchungen auf dieser Grundlage sind möglich, insbesondere im Hinblick auf die Detektierbarkeit von Objekten innerhalb des Windparks sowie zur Berücksichtigung der Radarausbreitung unter dem Einfluss verschiedener Oberflächenstrukturierungen – Wellenformen und Wellenhöhen – der Wasserfläche.

Die gesamten Untersuchungen wurden für die Frequenzen um 5,6 GHz sowie 9,2 GHz entsprechend den auf Schiffen befindlichen SMR-Radaranlagen durchgeführt.

Hinweis:

Sämtliche Ergebnisse sind unter den für die untersuchten WEA-Standorte angegebenen Randbedingungen gültig. Ein Übertrag der Ergebnisse auf andere Windenergieanlagen oder auf andere Standorte ist nur mit Einschränkungen möglich. Bei Änderungen der WEA-Konstruktionen, der Standorte oder bei abweichenden Geländeprofilen verlieren die ermittelten Ergebnisse ihre Gültigkeit.

Alle Untersuchungsobjekte sind hinsichtlich Konstruktion und Material vom Auftraggeber vorgegeben worden. Alle Untersuchungen und theoretische Analysen sind vom Sachverständigen persönlich überwacht oder durchgeführt worden. Der Schwerpunkt der Unterstützung durch Dipl.-Ing. (FH) M. Gottschalk liegt in der Durchführung der Simulationsverfahren nach festgelegten Prozessen.

Alle genutzten Hilfsmittel sind Eigentum der Airbus Defence and Space GmbH, Betrieb Bremen. Sie entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Lehre und der Erfahrung aus der Praxis.



Dr. -Ing. A. Frye; 30.08.2019

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für  
Hochfrequenz- und Signaturtechnik

## **5 Bewertung bzgl. des Radars Putgarten**

Nordöstlich des Radarstandortes Putgarten ist in ca. 23,7 km Entfernung die Errichtung von 28 geplanten Offshore-Windenergieanlagen des Typs Vestas V174-9,5 MW mit einer Nabenhöhe von ca. 107 m über MSL vorgesehen.

### **5.1 Aufgabenbeschreibung**

#### Geplante Anlagen:

Die Vestas V174-9,5 MW Naben- und Generator konstruktion hat mit Getriebe eine horizontale Ausdehnung von maximal 20,7 m. Die Höhe kann mit maximal 9,3 m angegeben werden. Der Querschnitt der Standsäule als Stahlsäule oder Stahlbetonsäule am Anschluss zur Gondel ist mit ca. 4,5 m angegeben. Der Rotordurchmesser beträgt ca. 174 m. Die ermittelten Ergebnisse in diesem Gutachten behalten auch bei einem ggf. kleineren Rotordurchmesser ihre Gültigkeit ohne Einschränkungen.

Für die Rotorblätter der geplanten Anlagen wird von einem Blitzschutzkonzept ausgegangen, das ein Leiterband bzw. eine axial geführte Leiterschiene im Rotorblatt sowie metallische Rezeptoren u.a. im Bereich der Blattspitze vorsieht. Gemäß durchgeführter messtechnischer Untersuchungen im Zusammenhang mit anderen Projekten konnte nachgewiesen werden, dass ein derartiges Blitzschutzkonzept ein geringeres radartechnisches Störpotential zeigt als äußere metallische Kantenprofile, insbesondere eine geringere Streufeldintensität infolge eines geringeren Metallanteils im Rotorblatt. Das Ausmaß der möglichen Einflüsse durch Rotorblätter wird im Folgenden für ein Blitzschutzkonzept berücksichtigt, das diesen axial verlaufenden Leiter vorsieht.

Ziel dieser Untersuchung ist es, unter den Kriterien, die in den nachstehenden Kapiteln genannt sind, eine Aussage über die durch die geplanten WEAs erzeugten

und zu erwartenden radarverschattungswirksamen Störeinflüsse und daraus folgender Reichweitenminderungen zu erarbeiten und – soweit erforderlich – Maßnahmen zu deren Beseitigung und deren Wirksamkeit aufzuzeigen.

## 5.2 Referenzuntersuchung

Die vorliegende Untersuchung berücksichtigt neben den durchgeführten Simulationsrechnungen zusätzlich Erkenntnisse aus rechnergestützten und messtechnischen Analysen von anderen Windkraftvorhaben im Nahbereich unterschiedlichster Radarortungssysteme. Der Schwerpunkt der vorliegenden messtechnischen Grundlagen und Referenzen bezieht sich auf 3D-Radarsysteme zur Luftverteidigung. Bei der Modellierung sowie der rechnergestützten Strahlungsfeldanalyse der vorliegenden WEA-Anordnung wurden die gleichen Verfahren aus den nachstehend genannten Vorhaben – in weiterentwickelter Version – genutzt.

Grundlagen dieser Untersuchungen sind u. a.:

- a. Computergestützte Strahlungsfeldanalysen der DASA zur Beurteilung der Einflüsse einzelner Windkraftanlagen im Nahbereich des militärischen Radarsensors Auenhausen/NRW. Die Resultate wurden in einem Bericht vom September 1998 zusammengefasst.
- b. Flugvermessungen zur Verschattungswirkung von Windkraftanlagen im Nahbereich des Radarsensors Auenhausen im Jahr 1996.
- c. Technische Vorgaben der Bundeswehr an die Untersuchung von Windenergieanlagen zum Radarsensor Brockzetel vom September 1998.
- d. Durchgeführte computergestützte Strahlungsfeldanalyse der DASA zur Beurteilung der Einflüsse einzelner Windkraftanlagen mit Nabenhöhen von 98 m über Grund. Dabei wurden gezielt unterschiedliche Distanzen zu einer Radarortungsanlage bewertet. Die Resultate wurden in einem Bericht vom Januar 1999 zusammengefasst. Die gewählten Modellpara-



meter bei der Nachbildung dieser Windenergieanlagen entsprechen den Parametern der Untersuchungen nach Punkt a und b zu Auenhausen, da hierbei jeweils eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den computergestützten Strahlungsfeldanalysen sowie den Flugvermessungen festgestellt wurde.

- e. Durchgeführte Flugvermessungen zum Radarsensor Brockzetel/Niedersachsen vom April 1999.
- f. Computergestützte Strahlungsfeldanalysen der DASA im Rahmen einer Machbarkeitsanalyse für ein Aufstellungskonzept eines Windenergieparks. Die Resultate zu radartechnisch möglichen Anordnungen einer größeren Anzahl von Windenergieanlagen im Nahbereich des Radarsensors Brockzetel wurden dabei in einem Bericht im Mai 1999 zusammengefasst.
- g. Interpretation und Beteiligung an der Auswertung von Flugvermessungen im Rahmen der „Arbeitsgruppe Messtechnik“ – 1999 bis 2003 – unter Leitung des Luftwaffenführungskommandos.
- h. Computergestützte Feldanalysen der EADS in Abstimmung mit der Erprobungsstelle WTD 81 der Bundeswehr in Greding zur Beurteilung des Einflusses von Windenergieanlagen bei unterschiedlichen Radarbetriebsfrequenzen im Jahr 2003.
- i. Untersuchung von Windenergieanlagen-Anordnungen im Einflussbereich/Arbeitsbereich von Luftverteidigungsanlagen der Typen MPR, HADR und RRP 117 mit unterschiedlichen Frequenzen in den Jahren 2002 bis 2005.
- j. Untersuchung von Windenergieanlagen-Anordnungen im Einflussbereich/Arbeitsbereich von Navigationsanlagen des Typs DVOR in Deutschland im Jahr 2004.
- k. Untersuchung von WEA Anordnungen in großer Distanz sowie deren Einfluss auf Luftverteidigungsradaranlagen des Typs HADR und Vergleich mit Flugverkehrsaufzeichnungen in den Jahren 2008 und 2009.

- l. Report DoD USA „ THE EFFECES OF WIND TURBINE FARMS ON MILITARY READINESS 2006“.
- m. Eurocontrol “ Guidelines from Wind turbine task force “ Version 1.0
- n. ICAO EUR Doc. 15 2nd Edition, September 2009.
- o. ICAO – Doc 8071 – Manual on Testing of Radio Navigation Aids; Vol. III.
- p. Abschlussbericht: Einfluss von Hindernissen auf HF-gestützte Führungsmittel vom 15.02.2004
- q. Feldstudie RAF AWC „ The Effects of Wind turbine Farms on ATC Radar“ vom 10.05.2005
- r. Messtechnische Untersuchung durch EADS an Rotorblättern und Bauweisen im Auftrag eines Windenergieanlagen-Herstellers zur Ermittlung von reflexionsdämpfenden Möglichkeiten aus 2003
- s. Messtechnische RQS-Untersuchung einer WEA vom Typ Enercon E66 durch Fa. Qinetiq, Großbritannien aus 2003
- t. Besprechung und Vortrag bei „Eurocontrol / Wind energy task group“ vom 01.03.2006 „Potential effects of wind turbines and justiciable solutions“.
- u. Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors “,Version 0.15 vom 30.Juni 2009
- v. EADS Erkenntnisse aus messtechnischen Untersuchungen der Luftwaffe zum Einfluss vom Windenergieanlagen auf die Erfassungen von Flugzielen am Beispiel einer 3-D-Radaranlage zur Luftverteidigung aus 2011
- w. Sonderversmessung zum Einfluss von entfernten WEA auf die Erfassung von Flugzielen am Beispiel der LV-Radaranlage des Einsatzführungsdienstes der Luftwaffe Auenhausen, Bericht Januar 2013
- x. Besprechung im Luftfahrtamt der Bundeswehr zur Bewertung von WEA vom 05. und 06.02.2018

Neuere messtechnische Untersuchungen konzentrieren sich auf vergleichende Detailuntersuchungen zu konkreten Bestandsparks, werden daher nicht explizit aufgeführt und dienen der Verifikation der Ergebnisse der genannten Grundlagenuntersuchungen.

### **5.3 Untersuchungsverfahren**

Das eingesetzte numerische Untersuchungsverfahren zur Strahlungsfeldanalyse im Raum basiert bzgl. der Nachbildung der Windenergieanlagen auf dem mathematischen Verfahren der Momentenmethode.

Bei den Untersuchungen der Einflüsse auf die Reichweite des Radarsystems, die radarwirksamen Abschattungswirkungen, sowie der Wechselwirkungen der Windenergieanlagen untereinander, wurden die Feldberechnungen bei jeder einzelnen Konfiguration einer Windenergieanlage oder einer Gruppe von Windenergieanlagen für verschiedene Raumgebiete sowie unterschiedliche Höhen durchgeführt. In der vorliegenden Untersuchung wurde der Schwerpunkt auf einen sehr niedrigen Elevationswinkel (Höhenwinkel) von  $0^\circ \dots 0,1^\circ$  gelegt. Die Ergebnisse der Feldverteilung bzw. der Feldintensitäten liegen somit im 3-dimensionalen Raum vor.

Die Objektstrukturen der untersuchten Bauwerke, wie WEA, Strommasten oder anderen Hochbauten werden dabei in der Gesamtheit zusammen mit ggf. vorhandenen Geländestrukturen in diesem Bereich erfasst. Die Darstellung der Ergebnisse in den Abbildungen beschränkt sich im vorliegenden Gutachten auf die Analyseebene zwischen dem LFZ und der Radarantenne derart, dass der Höhenbereich der Gondeln, d. h. der Bereich, in dem die intensivsten Störungen hervorgerufen werden können, dargestellt wird.

Grundsätzlich wird bei den numerischen Analysen als Worst-case-Ansatz das Raumgebiet der Gondel zusammen mit dem Turm als verschattungsrelevante Objektstruktur nachgebildet, die sich im Falle einer vollständigen Rotation ergibt.

Damit sind zusätzlich die ungünstigsten Randbedingungen, die sich bei wechselnden Windrichtungen ergeben können, berücksichtigt.

Das elektromagnetische Strahlungsfeld wird im gesamten Entfernungs- und Raumbereich zwischen dem LFZ und der Radarortungsanlage berechnet. Für jede einzelne Analyse wird auf dieser Grundlage die Intensitätsverteilung des Feldes in einem 400 m breiten und einem 30 km langen Feldgebiet – ausgehend von der Radarortungsanlage – dargestellt. Dieses Feldgebiet stellt somit den letzten Streckenabschnitt der vom LFZ reflektierten Radarwelle dar. In den Abbildungen sind somit die Feldstärkeverteilungen der letzten 30 km mit der Radarortungsanlage als Zielpunkt angegeben.

Das Raumgebiet um das Radarsystem wird mit unterschiedlichen Feldpunktdichten analysiert, um eine gesicherte Datenbasis für die Beurteilung der zu erwartenden Einflüsse auf die Empfangsfeldstärke zu haben.

Grundsätzlich wird bei den Feldberechnungen eine normierte elektrische Feldstärke bei Annahme vertikaler Polarisierung ausgewiesen. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt durch als Farbflächen gekennzeichnete Feldstärkeverteilungen sowie durch 3D-Konturdarstellungen, die die räumliche Ausdehnung des Streufeldes in der direkten Umgebung der streuenden Struktur der Windenergieanlage deutlich machen.

Ein Einfluss auf die Radarortungssysteme wird als messtechnisch mit z.B. SASS-C (vgl. Anhang A) nachweisbar beurteilt, wenn die Feldstärkeminderungen am Ort der Empfangsantenne zu einer Reichweitenminderung auf 96,2 % oder weniger gegenüber dem ungestörten Fall (100 %) führen. Die Beurteilung von messbaren Reflexions- und Streufeldeinflüssen orientiert sich an Änderungen der Empfangsfeldstärke, die eine gleiche Größenordnung erreichen.

Eine Bewertung, ob die messbaren Einflüsse eine Beeinträchtigung des Betriebes des Radarortungsverfahrens bedeuten, erfolgt in Rahmen dieser Untersuchung nicht.

Für die aktuelle Untersuchung zu diesem Projekt werden die Distanzen zum Radar und die Anordnungen der Windenergieanlagen mittels einer präzisen Berechnungsmethodik bestimmt, welches die Geodäten auf Basis des Referenzellipsoids WGS84 berechnet und eine detaillierten Geländeoberfläche zwischen dem Radar und den Windenergieanlagen berücksichtigt. Die Abweichungen betragen bei diesem Verfahren für die untersuchten Entfernungen nur noch wenige Dezimeter. Bei diesem Verfahren wird ebenfalls der Einfluss durch die sich ergebende Erdkrümmung mit berücksichtigt.

Durch diese Änderungen der genaueren Nachbildung der zu untersuchenden Szenarien ergibt sich für die WEA-Anordnungen und das Referenzgebiet gegenüber älteren Untersuchungen ein anderes Pegelniveau.

Die Ergebnisse auf Grundlage der Geländeaufbereitung in früheren Untersuchungen stellen eine sehr konservative Berechnung einer worst-case-Betrachtung dar, bei der die Einflüsse des Geländes sowie die Erdkrümmung nicht im vollen Umfang mit berücksichtigt wurden.

#### **5.4 Technische Analyse**

Die nachstehenden Untersuchungen zur Beurteilung des Einflusses von WEAs auf das Radarstrahlungsfeld wurden unter Berücksichtigung der Generatorbauform, den vorhandenen Blitzschutzkonzepten, der Säulendimensionierung und den Nabhöhen durchgeführt. Ein geringfügig größerer Rotordurchmesser bewirkt keine Abweichungen von den nachfolgenden Analyseergebnissen.

- **Anordnung A1** der geplanten Situation gemäß Tabelle 2. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 22,37 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

**A1**

WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WTG 6	Vestas V174	107	22902,29	0
WTG 36	Vestas V174	107	21097,32	0,9041
WTG 7	Vestas V174	107	23097,84	0,7195
			<u>22365,82</u>	

Tabelle 2: Teilanordnung der geplanten Situation (A1).

- **Anordnung A2** der geplanten Situation gemäß Tabelle 3. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 23,45 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

**A2**

WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WTG 1	Vestas V174	107	24757,9	0
WTG 23	Vestas V174	107	22140,47	0,9321
			<u>23449,19</u>	

Tabelle 3: Teilanordnung der geplanten Situation (A2).

- **Anordnung A3** der geplanten Situation gemäß Tabelle 4. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 23,57 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

**A3**

WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WTG 9	Vestas V174	107	23534,59	0
WTG 4	Vestas V174	107	24721,22	0,7741
WTG 25	Vestas V174	107	22465,63	1,1436
			<u>23573,81</u>	

Tabelle 4: Teilanordnung der geplanten Situation (A3).

- **Anordnung A4** der geplanten Situation gemäß Tabelle 5. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 22,87 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

**A4**

WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WTG 11	Vestas V174	107	24011,34	0
WTG 40	Vestas V174	107	21728,41	0,3289
			<u>22869,88</u>	

Tabelle 5: Teilanordnung der geplanten Situation (A4).

- **Anordnung A5** der geplanten Situation gemäß Tabelle 6. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 23,8 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

**A5**

WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WTG 27	Vestas V174	107	22737,44	0
WTG 14	Vestas V174	107	24867,51	1,3258
			<u>23802,47</u>	

Tabelle 6: Teilanordnung der geplanten Situation (A5).

- **Anordnung A6** der geplanten Situation gemäß Tabelle 7. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 23,61 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

**A6**

WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WTG 42	Vestas V174	107	22394,93	0
WTG 28	Vestas V174	107	23336,58	0,1582
WTG 15	Vestas V174	107	25093,14	1,1183
			<u>23608,22</u>	

Tabelle 7: Teilanordnung der geplanten Situation (A6).



- **Anordnung A7** der geplanten Situation gemäß Tabelle 8. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 23,92 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

**A7**

WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WTG 44	Vestas V174	107	22931,99	0
WTG 16	Vestas V174	107	25357,36	1,2421
WTG 31	Vestas V174	107	24168,85	0,2369
WTG 45	Vestas V174	107	23224,55	0,0303
			23920,69	

Tabelle 8: Teilanordnung der geplanten Situation (A7).

- **Anordnung A8** der geplanten Situation gemäß Tabelle 9. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 24,59 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

**A8**

WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WTG 18	Vestas V174	107	25702,02	0
WTG 47	Vestas V174	107	23858,41	0,1523
WTG 48	Vestas V174	107	24213,68	1,3686
			24591,37	

Tabelle 9: Teilanordnung der geplanten Situation (A8).

- **Anordnung A9** der geplanten Situation gemäß Tabelle 10. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 25,13 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

**A9**

WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WTG 55	Vestas V174	107	25537,95	0
WTG 49	Vestas V174	107	24624,85	0,1367
WTG 56	Vestas V174	107	25221,57	1,5618
			25128,12	

Tabelle 10: Teilanordnung der geplanten Situation (A9).

- **Anordnung A10** der geplanten Situation gemäß Tabelle 11. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 25,98 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

<b>A10</b>				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WTG 57	Vestas V174	107	25714,58	0
WTG 58	Vestas V174	107	26244,75	1,2678
			25979,67	

Tabelle 11: Teilanordnung der geplanten Situation (A10).

- **Anordnung A11** der geplanten Situation gemäß Tabelle 12. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 24,34 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

<b>A11</b>				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
SPARE 46	Vestas V174	107	23534,22	0
WTG 18	Vestas V174	107	25627,29	1,3255
WTG 47	Vestas V174	107	23858,41	0,1076
			24339,97	

Tabelle 12: Teilanordnung der geplanten Situation (A11).

Die Abbildung 2 gibt die untersuchten Kubaturen der Naben- und Generatorbauformen der geplanten Dimensionen wieder. Die Maximalabmessungen der nachgebildeten Generatorgondeln sowie die Durchmesser des jeweiligen oberen Säulenanschlusses sind angegeben.

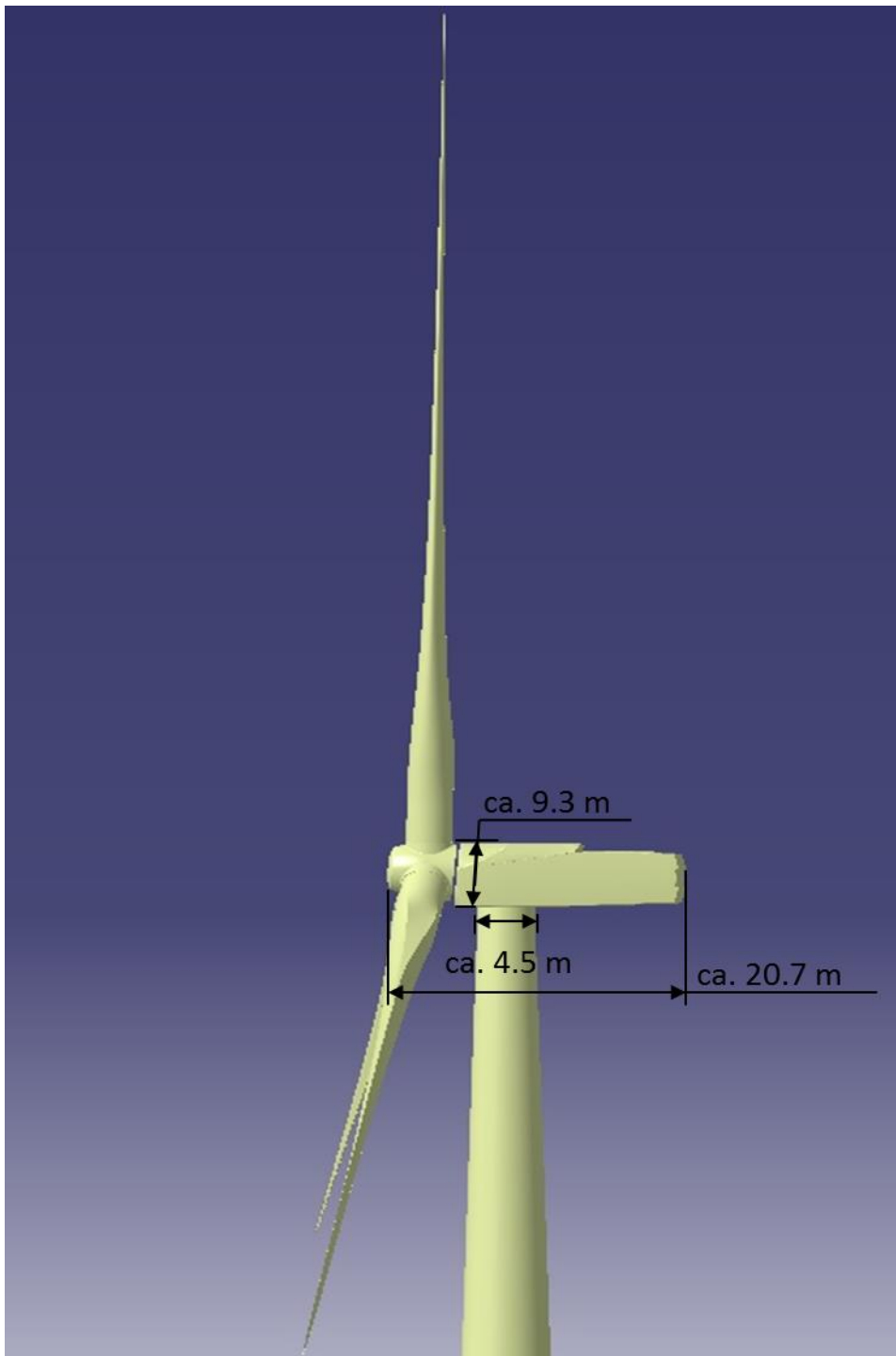


Abbildung 2: Schematische Objektgeometrie für die geplante WEA-Bauform Vestas V174-9,5 MW mit Getriebe mit ca. 174 m Rotor bei ca. 107 m NH.

Die Abbildung 3 zeigt eine grafische Übersicht der grün gekennzeichneten zulässigen geplanten Windenergieanlagenstandorte bezüglich der Radaranlage Putgarten.

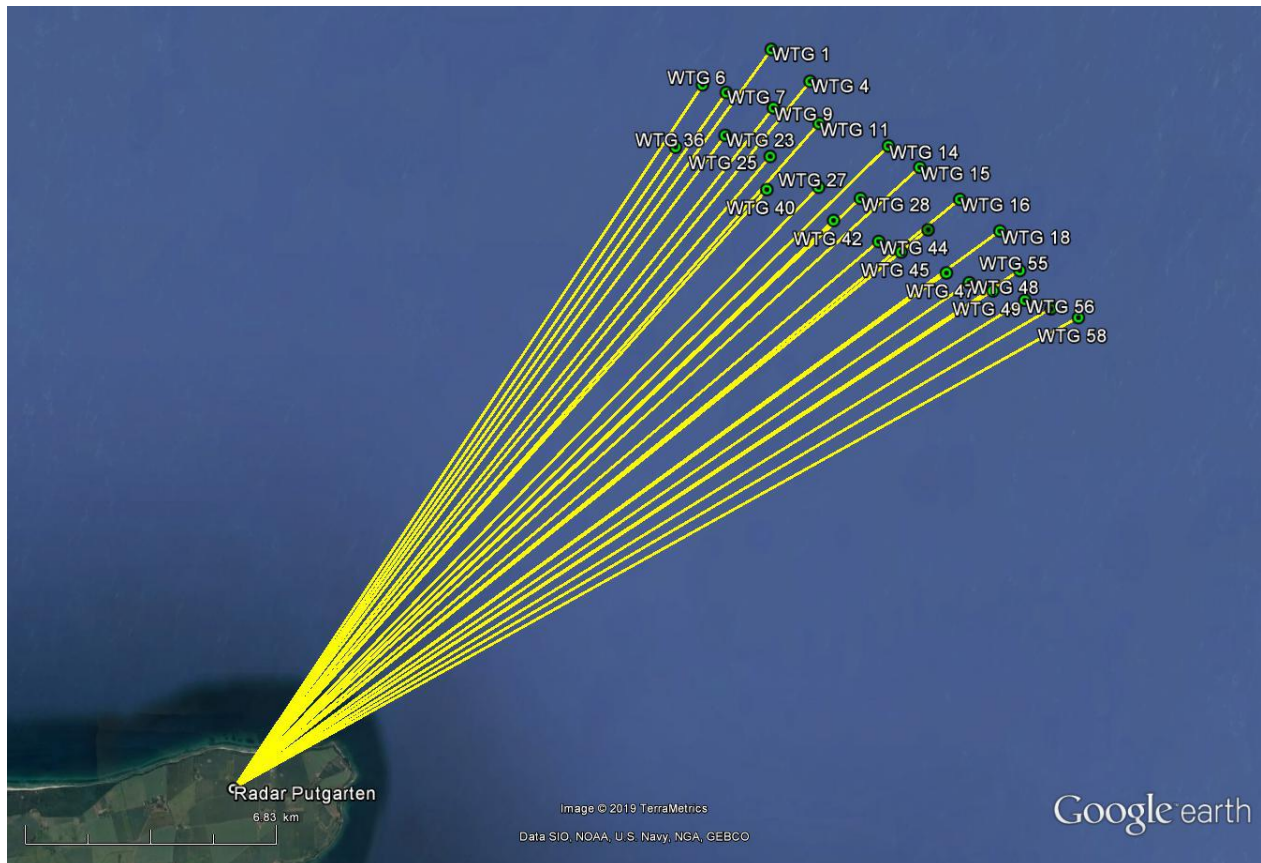


Abbildung 3: Grafische Übersicht auf die grün gekennzeichneten geplanten zulässigen Windenergieanlagen. Die Einstrahlungsrichtungen bzgl. des Radars Putgarten sind gelb gekennzeichnet.

### 5.4.1 Radartechnische Randbedingungen

In früheren Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, welche räumliche Ausdehnung das Streufeld einer Windenergieanlage typischerweise hat. Sie zeigen, dass sich das Strahlungsfeld in großen Distanzen hinter einer verschattenden Windenergieanlage rekonstruiert. Bei der Beurteilung der Feldstärkeminderung ist daher zwischen dem Primärpfad vom Radarsystem zum Luftfahrzeug und dem Sekundärpfad des Signals vom reflektierenden Luftfahrzeug zurück zum Radarsystem zu unterscheiden. Die Ursache von möglichen Reichweitenreduktionen ist im vorliegenden Fall der durch die Windenergieanlage hervorgerufene Verschattungseinfluss im Sekundärpfad, bzw. die von der Windenergieanlage in Richtung Radarortungsanlage zeigende Verschattungswirkung.

Die Auswirkung durch eine oder mehrere Windenergieanlagen wird im 3-dimensionalen Raum ermittelt.

Die nachstehende Abbildung 4 stellt schematisch einen 2-dimensionalen Flächenausschnitt dar, der unter einem Elevationswinkel vom Luftfahrzeug herunter bis zur exakten Höhenposition der Radarantenne zeigt. Als Höhenposition am Ort der Radarortungsanlage wird die Unterkante der Radarantenne gewählt. Alle Feldstärken sind normiert und in dBV/m angegeben.

Die normierten Feldstärkewerte – der Referenzfall ohne WEA – gemäß der Abbildung 6 sind die Grundlage für die Untersuchungen. Die analysierten Ergebnisse aus den Kapitel 5.4.1 und 5.4.2 sind gültig für Elevationswinkel oberhalb 0°.

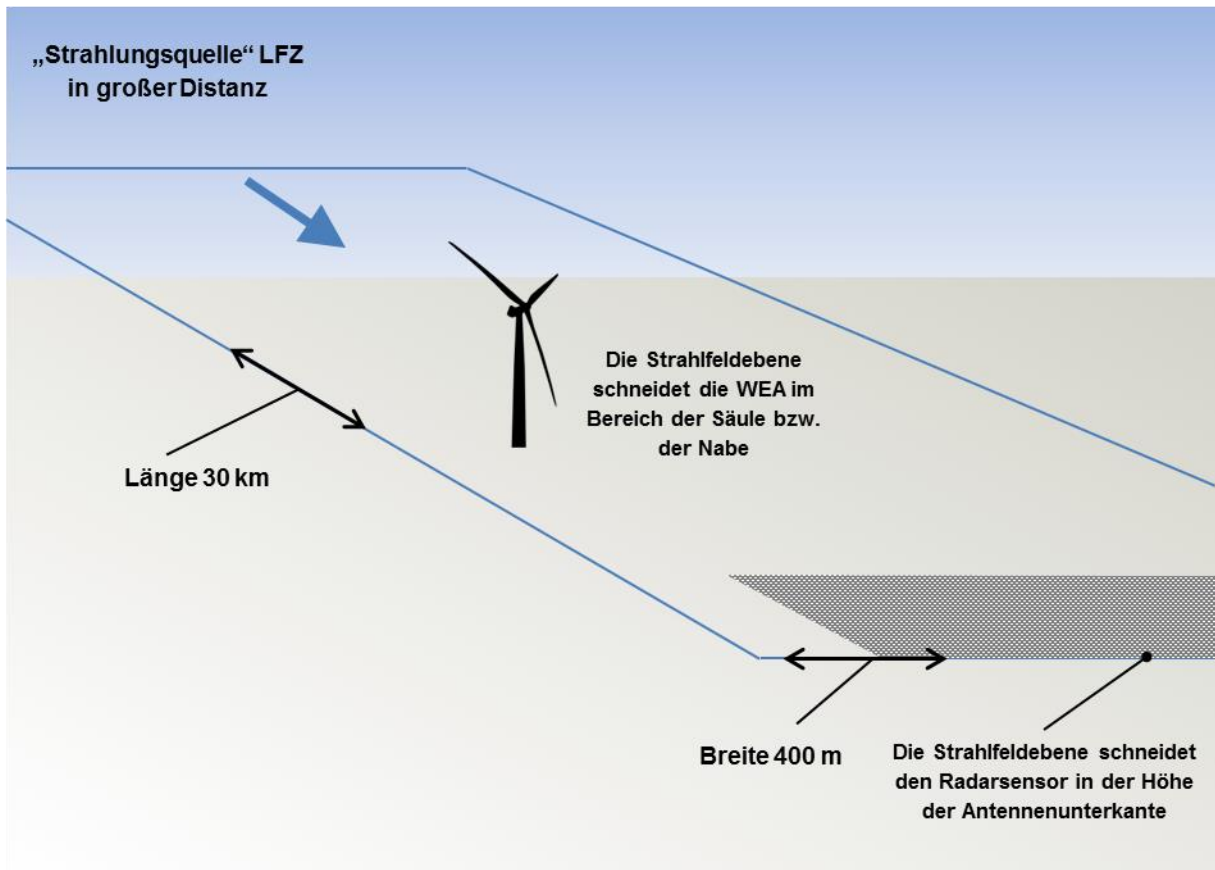


Abbildung 4: Anordnung von Radar und WEA sowie Lage des in dieser Untersuchung dargestellten Luftraums mit einer Ausdehnung von (hier) 30 km x 400 m Breite. Das LFZ wird in einer Distanz von bis zu 130 NM angenommen.  
– schematische Darstellung –

Untersucht wird das gesamte elektromagnetische Ausbreitungsfeld, das vom erfassten LFZ in großer Distanz zurück zur Radaranlage zeigt – „Sekundärpfad“. Bildhaft dargestellt ist in der vorliegenden Untersuchung (wenn nicht anders angegeben) stets ein Feldgebiet für den Sekundärpfad im Streckenabschnitt vor der Radaranlage, das das vom LFZ reflektierte Signal zur Radaranlage bis 30 km Längenausdehnung und in einer Breite von 400 m darstellt. Der grau dargestellte Ausschnitt des Feldgebietes wird zusätzlich mehreren Detailanalysen als Variationsrechnung unterzogen, um eine ausreichende Datenbasis für die zu erwartenden Einflüsse auf die Empfangsverhältnisse des Radarsensors zu erhalten.

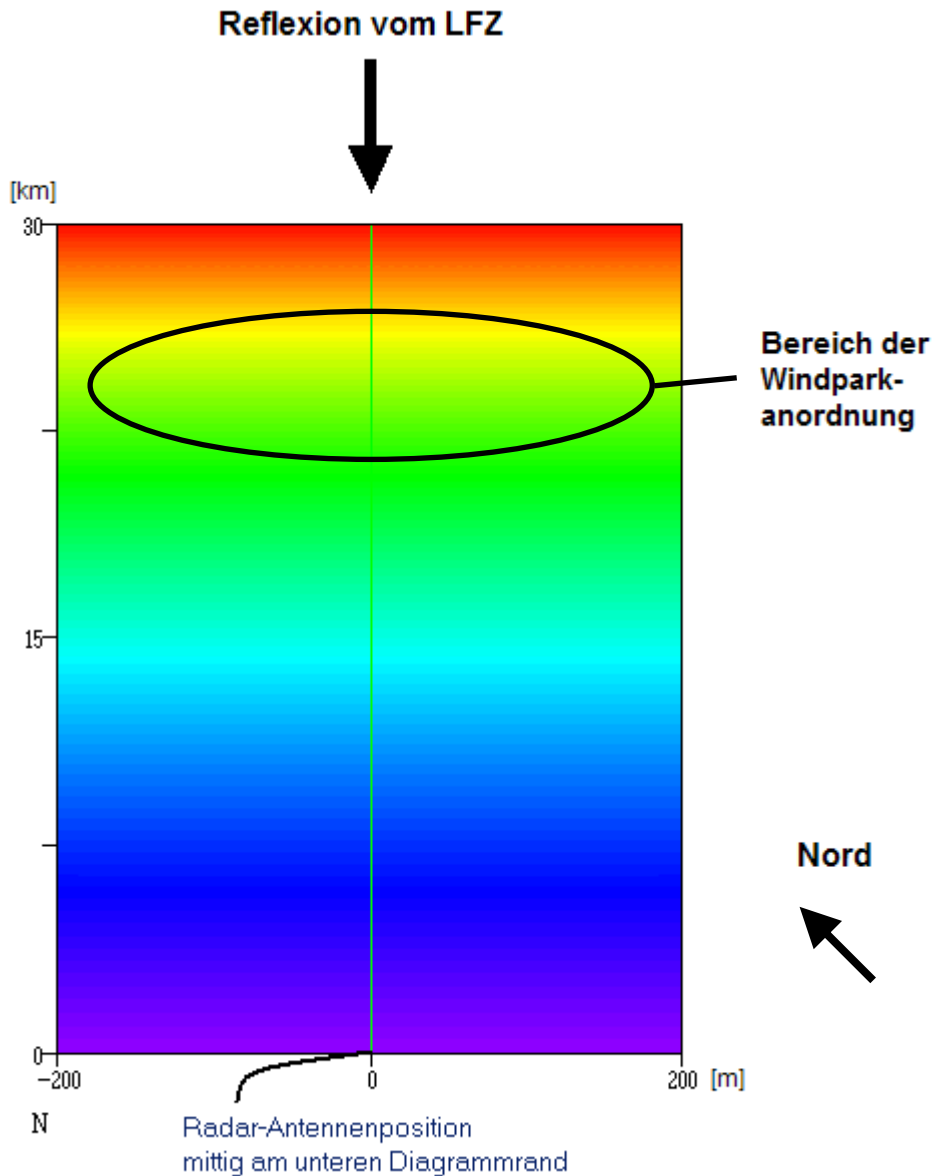


Abbildung 5: Feldgebiet von 30 km x 400 m in der Übersicht (schematische Übersicht für das Radar Putgarten)

Das Untersuchungsgebiet ist in der Übersicht dargestellt. Der Feldstärkeverlauf ist farblich in verschiedenen Abstufungen angegeben. Der Ort des geplanten Windparks wurde in Abbildung 5 schematisch in der geplanten Distanz zu den Radarsystemen als schwarze Ellipse gekennzeichnet. Die gemittelte Distanz des gesamten zukünftigen Windparks zum Radar Putgarten liegt bei ca. 23,7 km.



Die Abbildung 6 gibt die Strahlungsfeldverteilungen als Referenz im Fall ohne Windenergieanlagen zum Vergleich für die Frequenz von ca. 1,3 GHz wieder. Die Werte sind normiert und dienen einer vergleichenden Betrachtung am Ort der Empfangsantenne als Referenzwert.

**Bei der Betriebsfrequenz der Radaranlage in Putgarten gilt für den Fall ohne WEA im Rahmen der Simulation zum Strahlungsfeld der Referenzwert von:**

**-12,582 dBV/m (normierte Empfangsfeldstärke)**

LFZ in großer Distanz

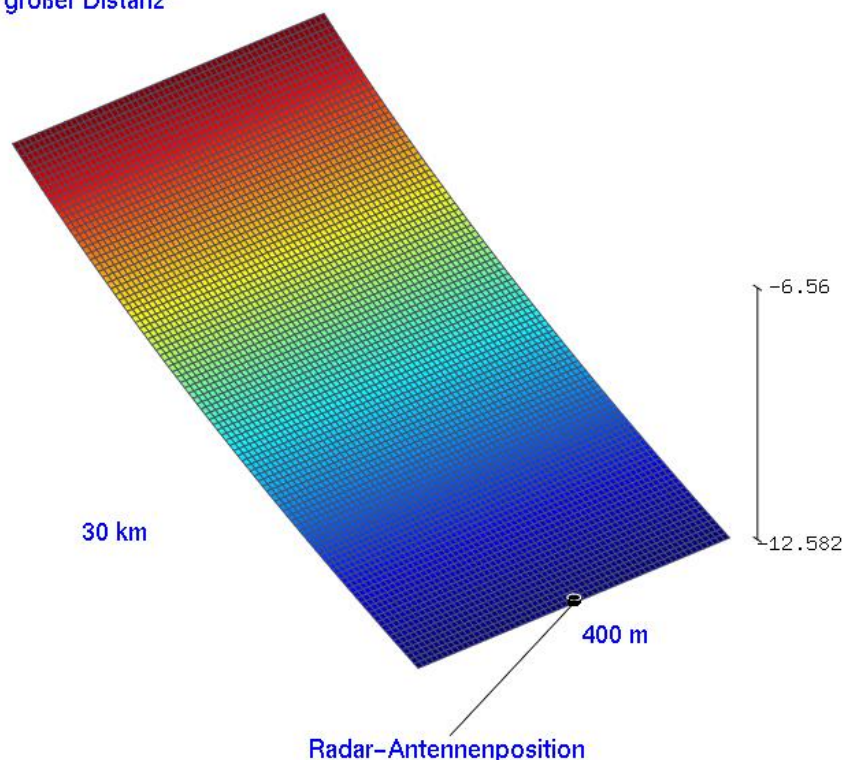


Abbildung 6: Das dargestellte Raumgebiet mit einer Elevation von 0° ohne WEA-Einfluss in der Konturdarstellung für die Betriebsfrequenz des Radars Putgarten.

Die nachfolgenden Untersuchungsergebnisse gemäß dem Kapitel 5.4.2 unter Berücksichtigung des Einflusses von Windenergieanlagen zeigen am Ort des Radarsensors von den o.g. Werten ohne WEA abweichende, üblicherweise geringere Feldstärkewerte. Diese Differenz der Werte wird in eine zu erwartende äquivalente Reduktion der Reichweite umgerechnet.

## **5.4.2 Bewertung des Einflusses von Einzelanlagen und Gruppierungen**

Die Nachbildung einer Windenergieanlage erfolgt gemäß der Abbildung 2. Die Strahlungsfeldanalyse erfolgt für die vorgenannten Anlagentypen und Standortkombinationen.

Die Abbildung 7 bis Abbildung 17 geben für die Betriebsfrequenz der militärischen Radaranlage Putgarten die Ergebnisse des geplanten Offshore-Windparks für verschiedene Teilanordnungen wieder.

Im direkten Vergleich mit der Referenz ohne WEA sind der radartechnisch wirksame Verschattungseffekt von einer WEA-Struktur bis zur Radarortungsanlage sowie die von der WEA verursachten Streufelder erkennbar. Deutlich sichtbar wird ebenfalls die unterschiedliche Ausdehnung und Ausprägung des Streufeldes infolge von Reflexions- und Beugungserscheinungen an den verschiedenen WEA-Strukturen in Abhängigkeit von der Distanz zum Radarsensor. Die angegebenen untersuchten Fälle zu WEA-Mehrfachanordnungen berücksichtigen die azimutale Breite des Antennenbeams des aktuellen Radarsystems im Hinblick auf eine zeitgleiche Erfassung benachbarter WEA. Die Abbildung 20 gibt hierzu eine Übersicht für den Richtungsbereich der Planung.

Die Auswertung der Analyse für den Ort der empfangenden Radarortungsanlage erfolgt mittels der Feldpunktgitter, über das die Orte der berechneten Feldstärkewerte festgelegt sind.

**Anordnung A1** der geplanten Situation gemäß Tabelle 2. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 22,37 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

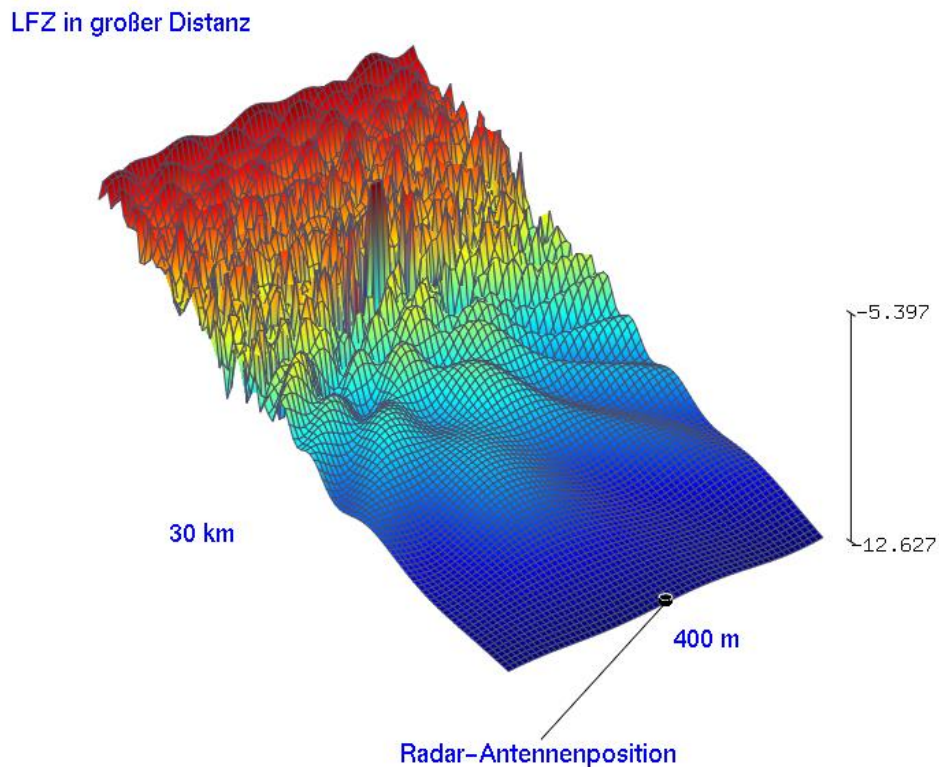


Abbildung 7: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Teilanordnung (A1).

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 7 mit -12,627 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

**99,48 %.**

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar, das Kriterium ist erfüllt.

**Anordnung A2** der geplanten Situation gemäß Tabelle 3. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 23,45 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

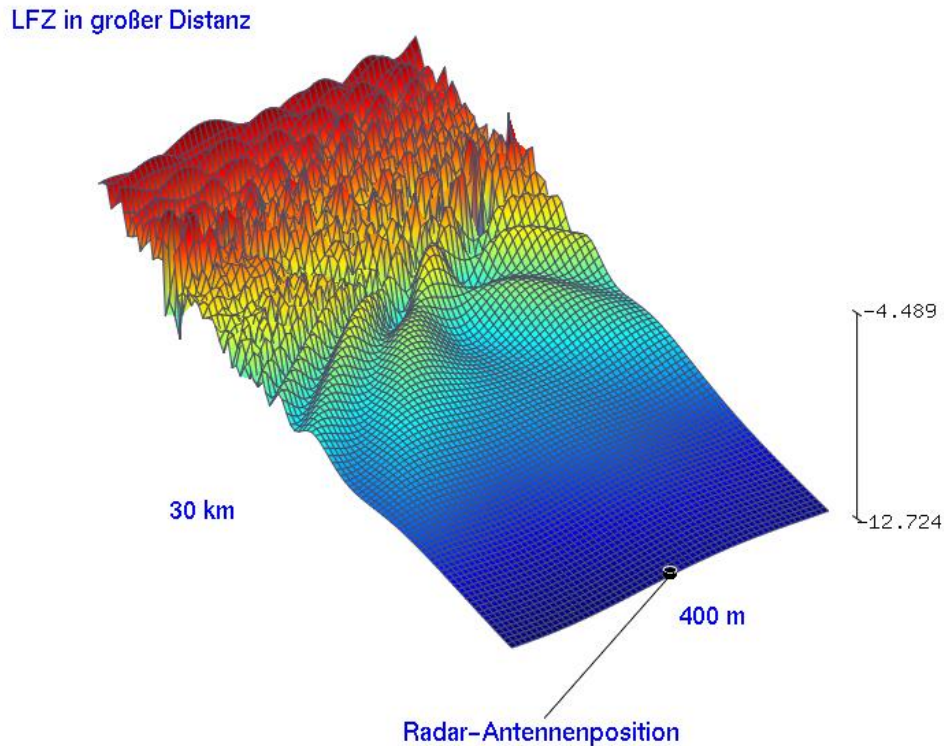


Abbildung 8: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Teilanordnung (A2).

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 8 mit  $-12,724$  dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

**98,38 %.**

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar, das Kriterium ist erfüllt.

**Anordnung A3** der geplanten Situation gemäß Tabelle 4. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 23,57 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

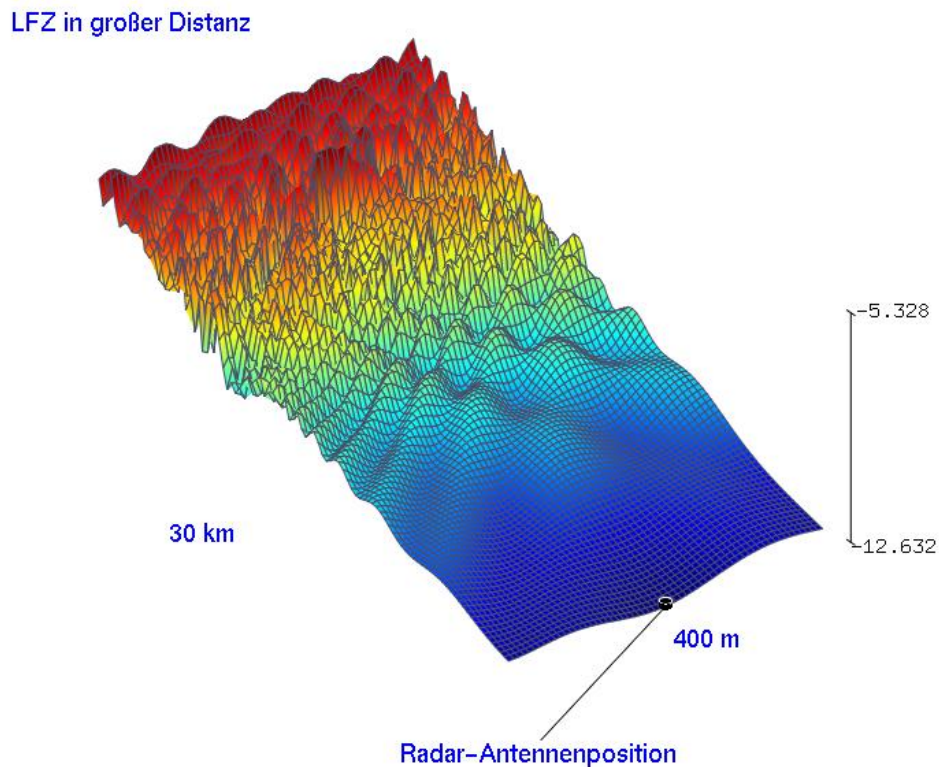


Abbildung 9: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Teilanordnung (A3).

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 9 mit -12,632 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

**99,43 %.**

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar, das Kriterium ist erfüllt.



**Anordnung A4** der geplanten Situation gemäß Tabelle 5. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 22,87 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

LFZ in großer Distanz

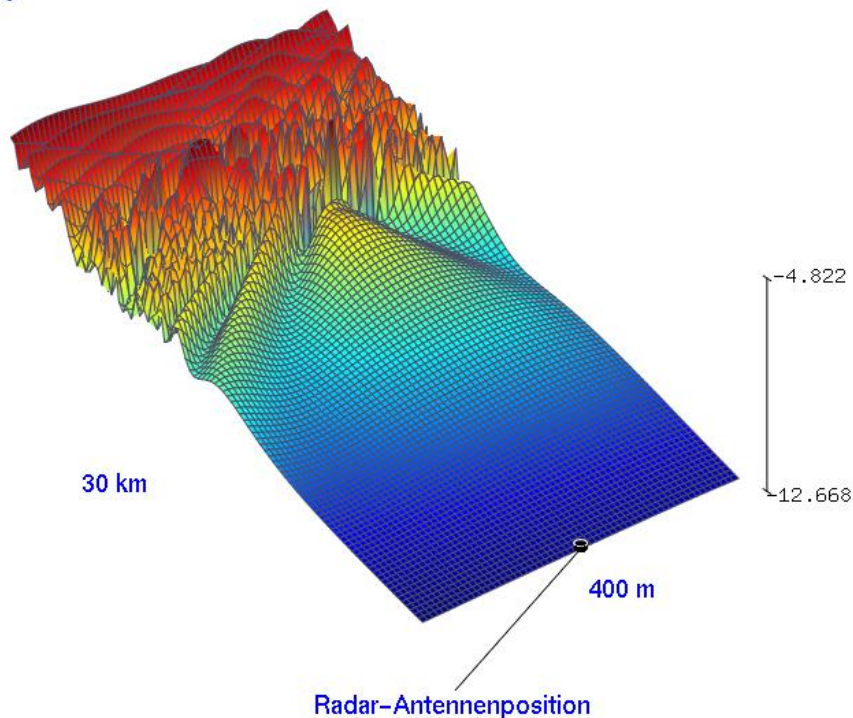


Abbildung 10: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Teilanordnung (A4).

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 10 mit  $-12,668\text{ dBV/m}$  errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

**99,01 %.**

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar, das Kriterium ist erfüllt.

**Anordnung A5** der geplanten Situation gemäß Tabelle 6. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 23,8 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

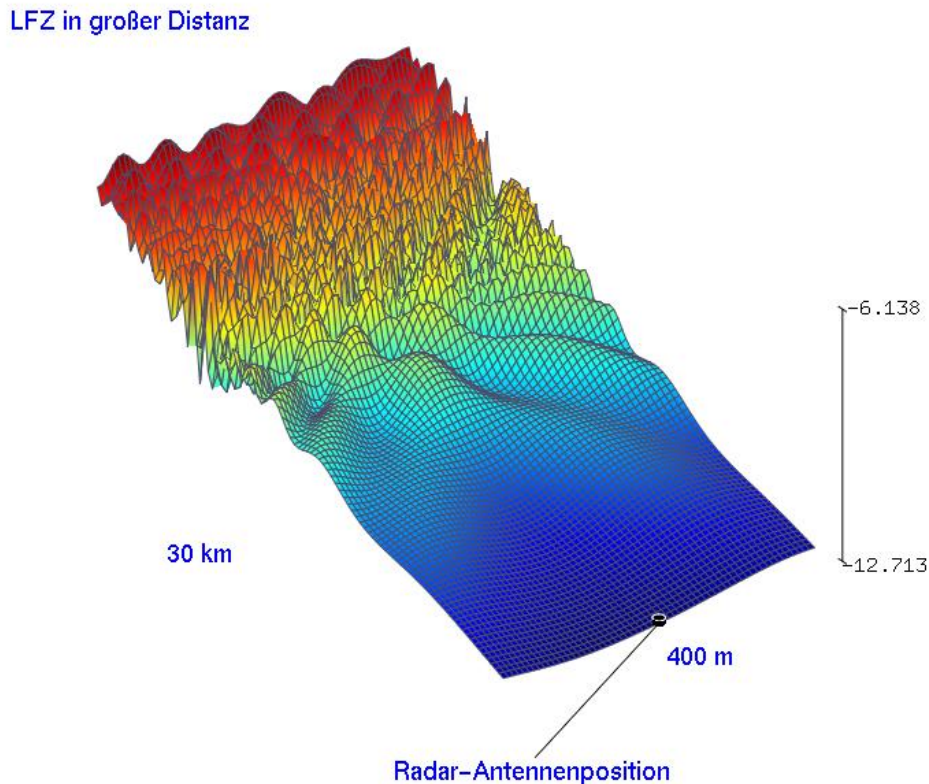


Abbildung 11: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Teilanordnung (A5).

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 11 mit -12,713 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

**98,50 %.**

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar, das Kriterium ist erfüllt.



**Anordnung A6** der geplanten Situation gemäß Tabelle 7. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 23,61 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

LFZ in großer Distanz

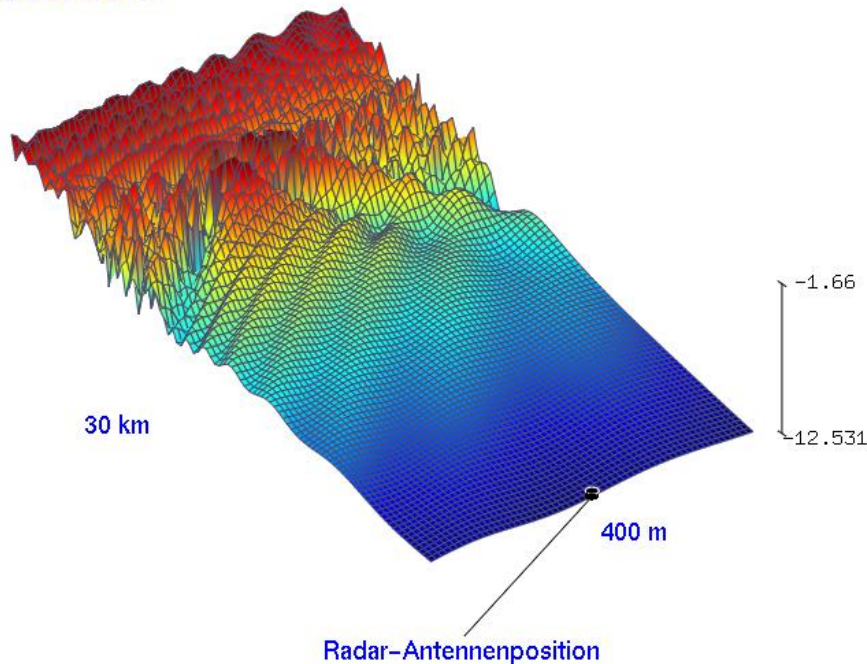


Abbildung 12: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Teilanordnung (A6).

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 12 mit -12,531 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

**100,00 %.**

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar, das Kriterium ist erfüllt.

**Anordnung A7** der geplanten Situation gemäß Tabelle 8. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 23,92 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

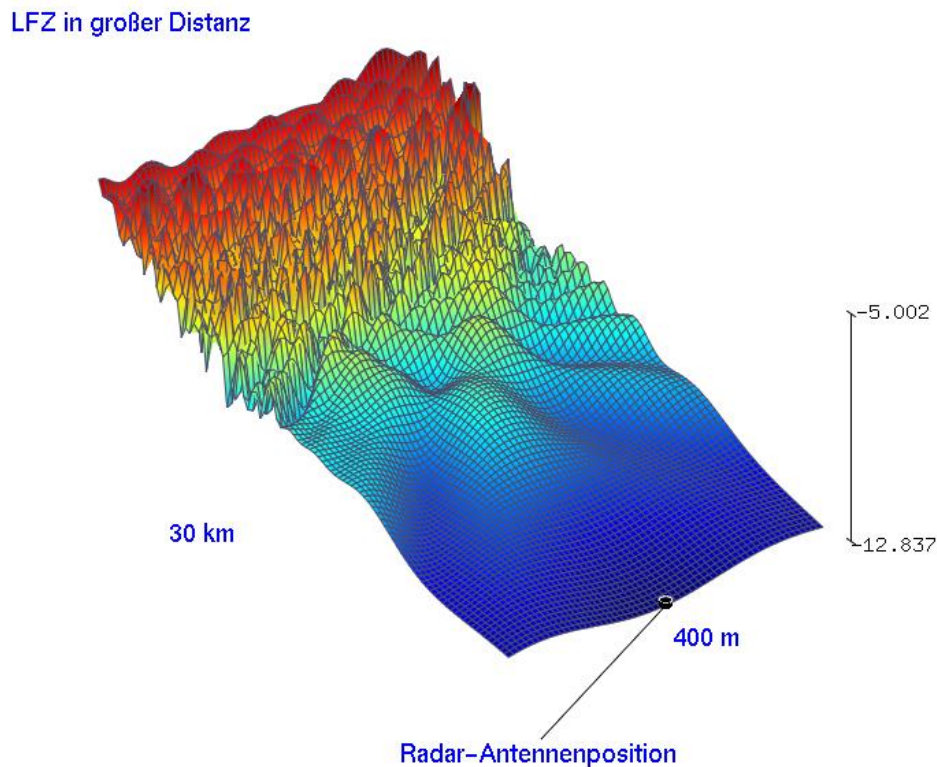


Abbildung 13: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Teilanordnung (A7).

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 13 mit -12,837 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

**97,11 %.**

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar, das Kriterium ist erfüllt.

**Anordnung A8** der geplanten Situation gemäß Tabelle 9. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 24,59 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

LFZ in großer Distanz

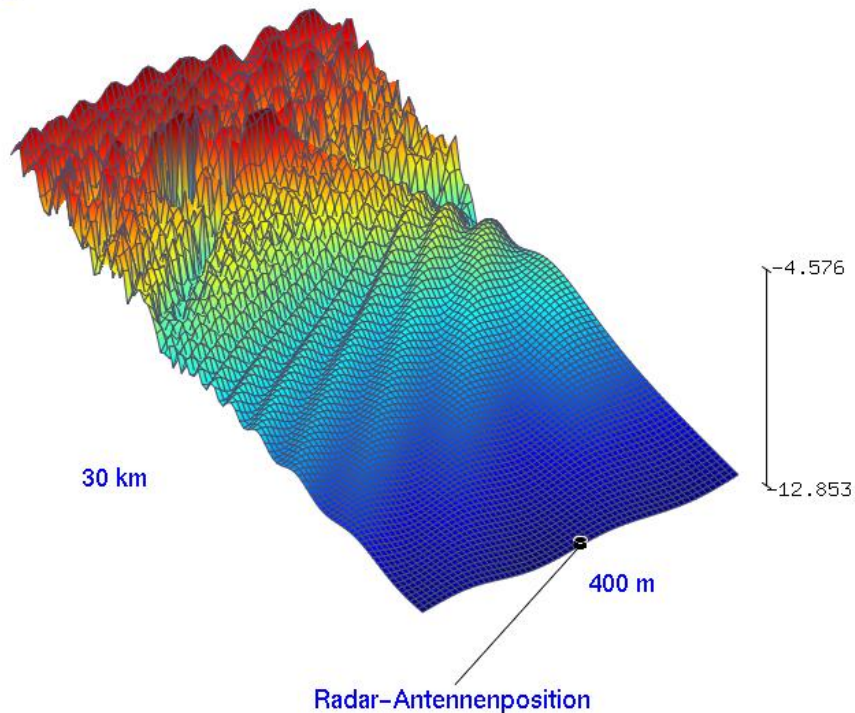


Abbildung 14: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Teilanordnung (A8).

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 14 mit -12,853 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

**96,93 %.**

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar, das Kriterium ist erfüllt.

**Anordnung A9** der geplanten Situation gemäß Tabelle 10. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 25,13 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

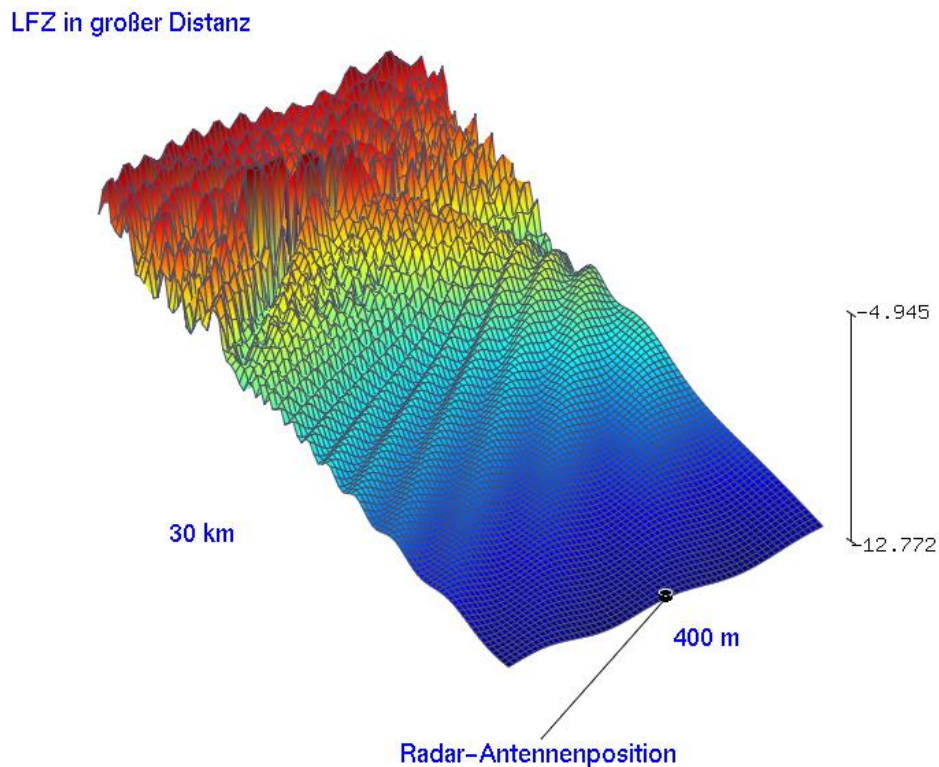


Abbildung 15: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Teilanordnung (A9).

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 15 mit  $-12,772$  dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

**97,84 %.**

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar, das Kriterium ist erfüllt.

**Anordnung A10** der geplanten Situation gemäß Tabelle 11. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 25,98 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

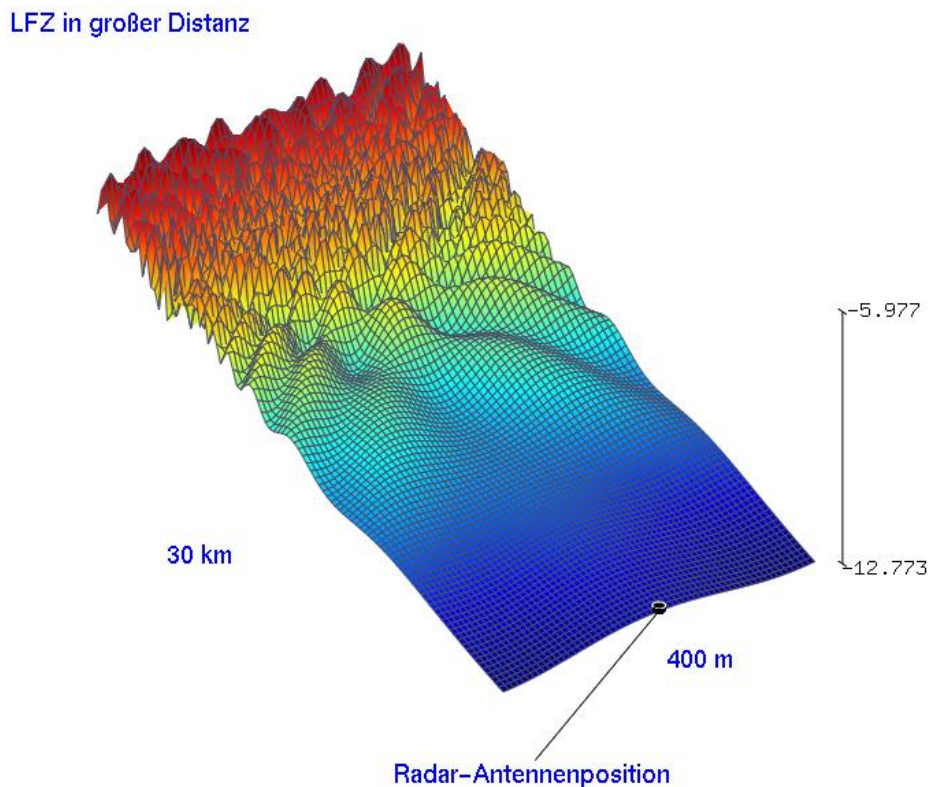


Abbildung 16: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Teilanordnung (A10).

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 16 mit -12,773 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

**97,83 %.**

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar, das Kriterium ist erfüllt.



**Anordnung A11** der geplanten Situation gemäß Tabelle 12. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 24,34 km zur Radaranlage Putgarten durchgeführt.

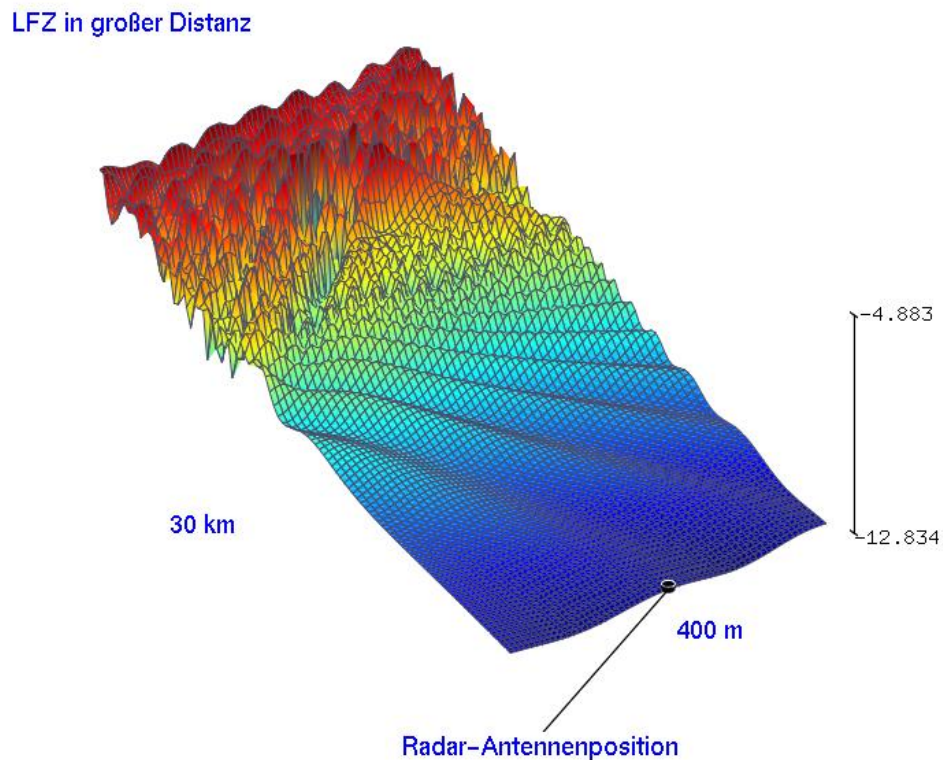


Abbildung 17: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Teilanordnung (A11).

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 17 mit -12,834 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

**97,14 %.**

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar, das Kriterium ist erfüllt.

Die Abbildung 18 zeigt eine Übersicht über die zu erwartende Reichweitenreduktion bei den angegebenen WEA-Konstellationen der Teilanordnungen A1 bis A11.

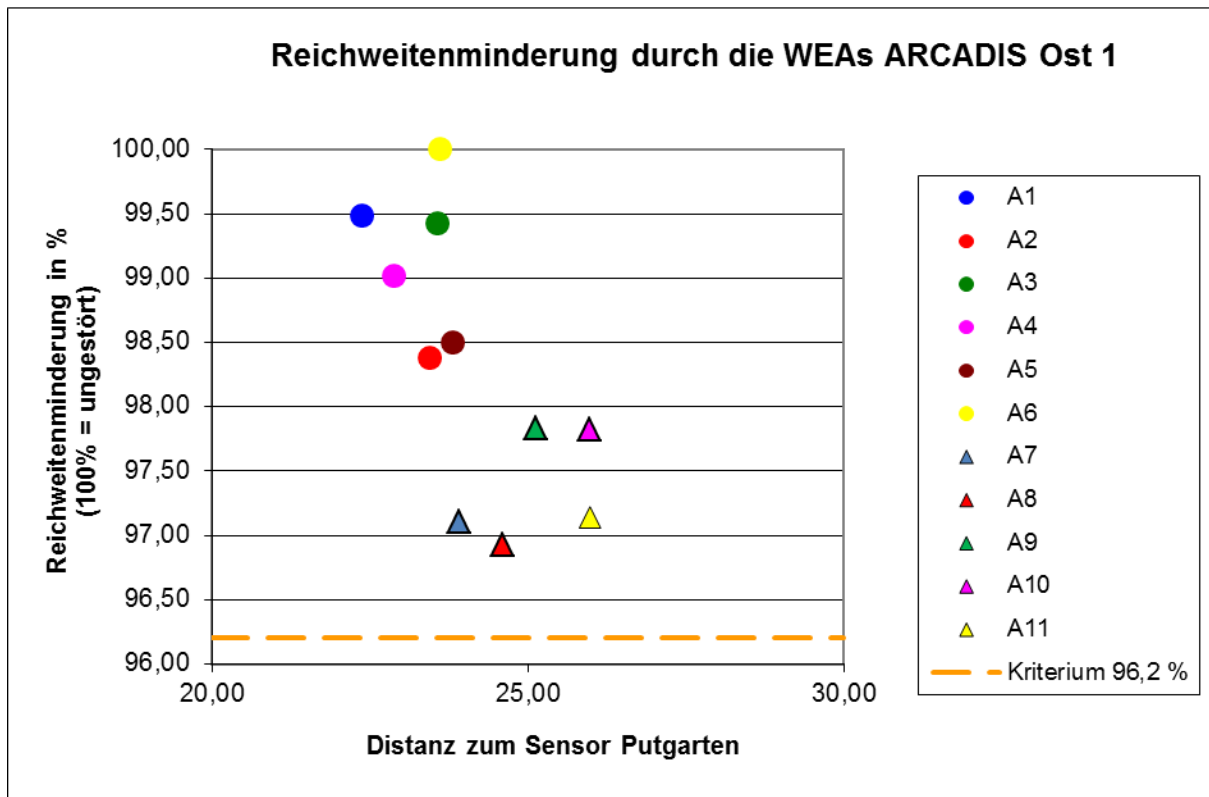


Abbildung 18: Übersicht über die zu erwartende Reichweitenreduktion bei den angegebenen WEA-Konstellationen.

Die Abbildung 19 stellt die zu erwartende Reichweitenreduktion gegenüber der Peilung von der Radaranlage im Azimut dar. Die Gondelanordnung im Azimut ist informativ grün hinterlegt. Hierbei zeigt sich der Einfluss der WEA-Anordnungen bzw. WEA-Verdichtung im Azimut und Elevation auf die Reichweitenminderung.



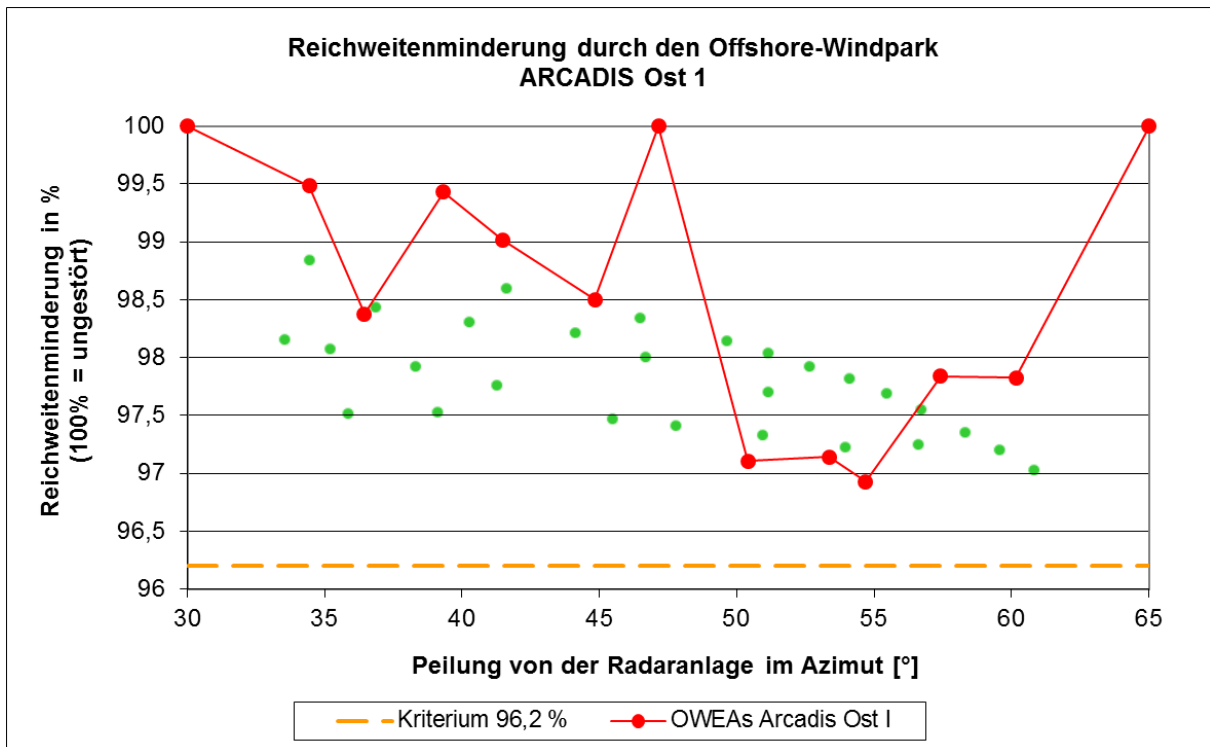


Abbildung 19: Übersicht über die zu erwartende Reichweitenreduktion gegenüber der Peilung von der Radaranlage im Azimut. Die Gondelanordnung im Azimut ist grün hinterlegt.

### **Beurteilung:**

In den Untersuchungen wurden die geplanten Standorte im Offshore-Windpark ARCADIS Ost 1 als zukünftige Situation analysiert.

Für die Untersuchung der geplanten WEAs des Anlagentyps Vestas V174-9,5 MW mit ca. 107 m Nabhöhe liegen gemäß den Untersuchungsergebnissen bei allen Teilanordnungen der geplanten WEA-Standorte keine Verschattungen vor, die das Kriterium 96,2 % verletzen.

Wechselwirkungen zwischen den geplanten WEAs sind aufgrund der großen Entfernung zum Radarsensor Putgarten, den Azimutwinkelabständen und der geringen Betriebsfrequenz auszuschließen.

Die nachstehende Abbildung 22 gibt die Perspektive der geplanten Windenergieanlagen über Azimut und Elevation bzgl. der Gondelpositionen für das Radar Putgarten wieder. Die Bereiche der untersuchten Anordnungen sind farbig hinterlegt.

Bei den analysierten Teilanordnungen wird grundsätzlich neben anderen Parametern der Radaranlage auch die Breite der Antennenkeule berücksichtigt. Bei den jeweiligen Teilanalysen wird das LFZ mittig bzgl. des jeweils analysierten Azimutabschnittes in großer Entfernung angenommen und der hervorgerufene Verschattungseinfluss im Sekundärpfad, bzw. die von den Windenergieanlagen in Richtung Radarortungsanlage zeigende Verschattungswirkung analysiert. Die Auswahl der untersuchten Teilanordnungen basiert auf der Auswertung der geplanten Standorte unter dem Aspekt der geringsten Azimutabstände und der damit verbundenen stärksten Verschattungserscheinungen bzw. Reichweitenminderungen.

Befindet sich ein LFZ hinter einer WEA-Anordnung mit geringen Azimutabständen, werden bedingt durch die direkten Verschattungen sowie stärkeren Wechselwirkungen untereinander die größten Verschattungserscheinungen bzw. Reichweitenminderungen auftreten. Verschiebt sich die LFZ-Azimutposition aus diesem Bereich mit geringen Azimutabständen der WEAs heraus, nimmt der Verschattungseinfluss grundsätzlich ab.

In der Abbildung 22 ist die Perspektive der untersuchten Teilausschnitte des Windparks über Azimut und Elevation bzgl. der Gondelpositionen für das Radar Putgarten dargestellt. Hierbei zeigen sich die jeweiligen Separationsabstände der Gondelpositionen im Azimut sowie in der Elevation.

Die Teilanordnungen mit den stärksten Verdichtungen für die Planungsanlagen sind in der Abbildung 22 durch farbige Flächen gekennzeichnet. Die jeweiligen LFZ-Positionen im Azimut sind für die Teilanordnungen schematisch gekennzeichnet.

Die Detailanalysen, bei denen das LFZ hinter einer WEA-Verdichtung mit geringen Azimutabständen angeordnet ist, geben den jeweiligen worst-case Fall einer

Verdichtung wieder. Die Azimutbreite der Teilanordnungen ist somit nicht zwingend identisch mit der Azimutaufösung des Radargerätes.

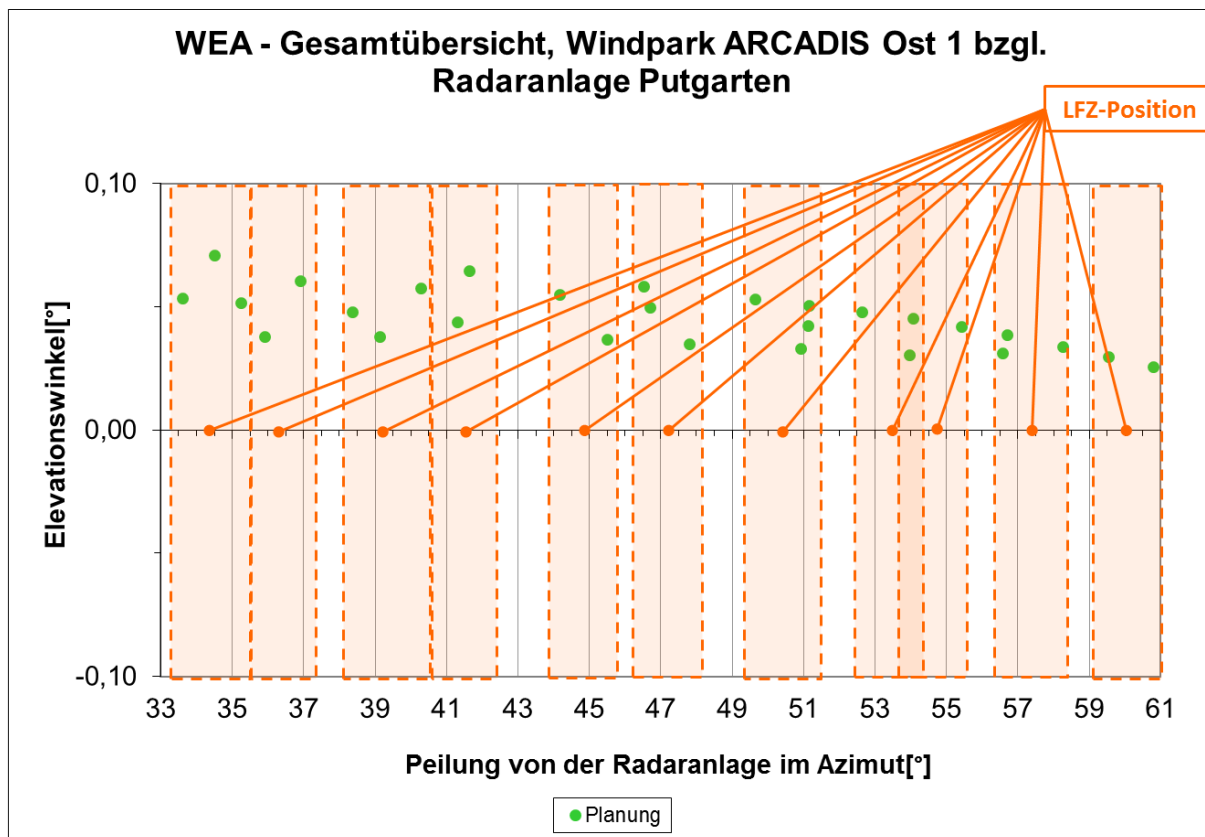


Abbildung 20: Perspektive zur Gondelanordnung gemäß Azimut und Elevation für die Position des Radars Putgarten. Die Bereiche der analysierten Teilanordnungen sind durch farbige Flächen gekennzeichnet. Die Richtung und Elevation des angenommenen LFZ ist dargestellt.

### **5.4.3 Bewertung des Gesamteinflusses des Windparks**

In den Untersuchungen wurden die geplanten Standorte des Offshore-Windparks ARCADIS Ost 1 als zukünftige Situation analysiert.

Die Ergebnisse gemäß dem Kapitel 5.4.2 zeigen für die geplanten Windenergieanlagen für die untersuchten Teilanordnungen keine Verschattungserscheinungen, die das Reichweitenkriterium von 96,2 % verletzen.

Die zu erwartenden Reichweitenminderungen durch die geplante Anordnung der gekennzeichneten WEAs gemäß Abbildung 21 erfüllt das Kriterium von 96,2 % für alle Planungsstandorte.

Zusätzlicher Handlungsbedarf für die geplanten Windenergieanlagen durch z.B. Standortänderungen besteht bei den festgestellten Einflüssen nicht.

Die Abbildung 21 zeigt eine Luftbildaufnahme des Windparkgebietes als Detailansicht der gekennzeichneten geplanten zulässigen WEAs. Die Koordinaten der geplanten WEAs sowie die jeweiligen Entfernungen, die Elevation und Azimutwinkelbezüge zum Radar Putgarten sind der Tabelle 13 zu entnehmen.

Die Abbildung 22 zeigt eine Übersicht zur Anordnung bzgl. der Elevation und Azimut der WEA-Gondeln bzgl. der militärischen Radaranlage Putgarten.

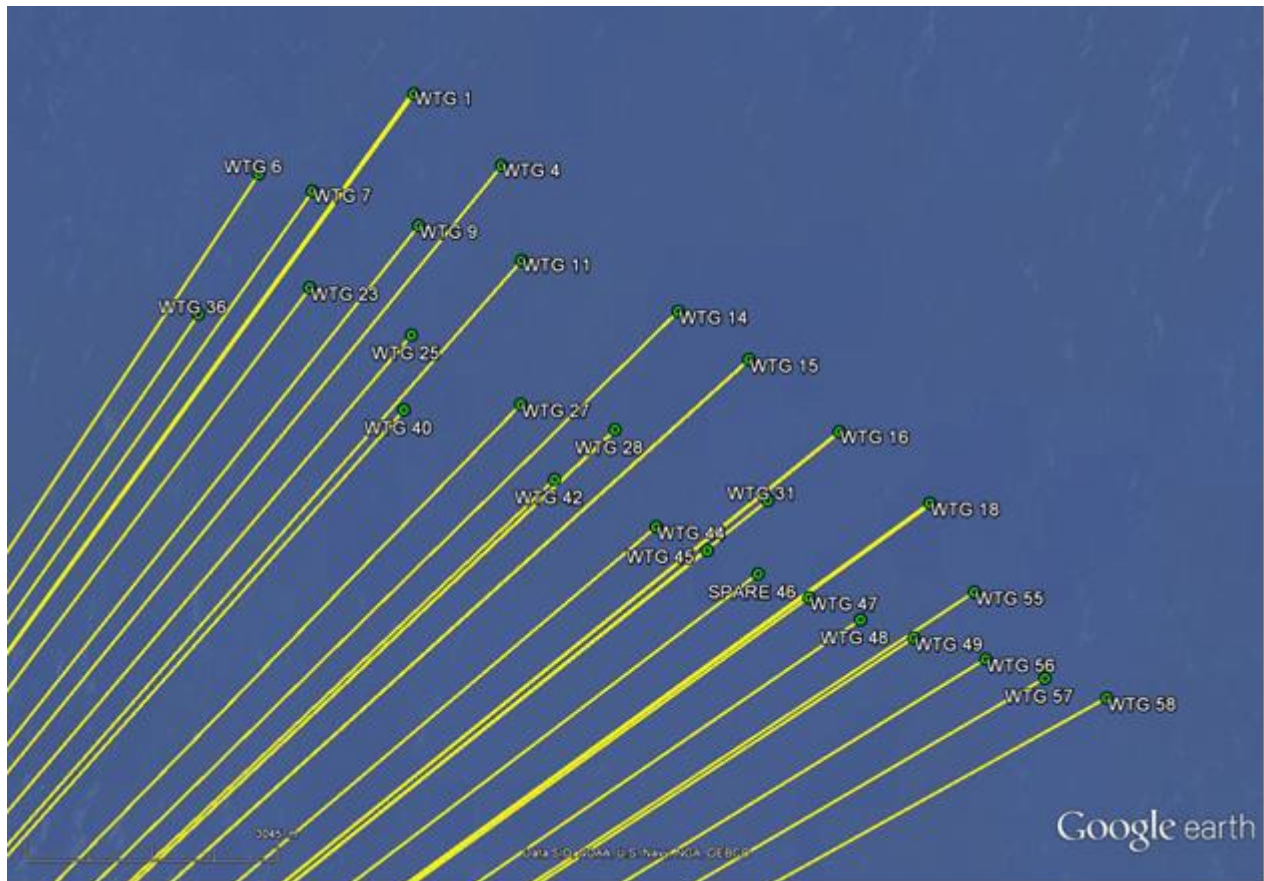


Abbildung 21: Grafische Übersicht auf die gekennzeichneten geplanten Windenergieanlagen. Die Einstrahlungsrichtungen bzgl. des Radars Putgarten sind gelb gekennzeichnet.

Standort	Anlage	WGS 84 Nord	WGS 84 Ost	Naben- höhe [m]	Elevation [°]	Distanz [m]	Winkel [°]
WTG 1	Vestas V174	54° 51' 13,06"	13° 36' 46,53"	107	0,04	24726,13	35,93
WTG 4	Vestas V174	54° 50' 45,51"	13° 37' 47,80"	107	0,04	24721,22	39,14
WTG 6	Vestas V174	54° 50' 42,24"	13° 35' 3,52"	107	0,05	22891,72	33,61
WTG 7	Vestas V174	54° 50' 35,74"	13° 35' 40,19"	107	0,05	23097,84	35,24
WTG 9	Vestas V174	54° 50' 22,29"	13° 36' 51,80"	107	0,05	23534,59	38,36
WTG 11	Vestas V174	54° 50' 8,72"	13° 38' 1,32"	107	0,04	24011,34	41,31
WTG 14	Vestas V174	54° 49' 48,89"	13° 39' 46,86"	107	0,04	24867,51	45,50
WTG 15	Vestas V174	54° 49' 29,34"	13° 40' 33,40"	107	0,03	25060,89	47,81
WTG 16	Vestas V174	54° 49' 0,84"	13° 41' 33,55"	107	0,03	25307,98	50,92
WTG 18	Vestas V174	54° 48' 32,33"	13° 42' 33,63"	107	0,03	25627,29	53,96
WTG 23	Vestas V174	54° 49' 58,15"	13° 35' 38,30"	107	0,06	22140,47	36,91
WTG 25	Vestas V174	54° 49' 39,79"	13° 36' 46,98"	107	0,06	22465,63	40,28
WTG 27	Vestas V174	54° 49' 12,83"	13° 38' 0,63"	107	0,05	22737,44	44,17
WTG 28	Vestas V174	54° 49' 2,73"	13° 39' 4,12"	107	0,05	23329,81	46,70
WTG 31	Vestas V174	54° 48' 35,46"	13° 40' 47,04"	107	0,04	24168,85	51,14
WTG 36	Vestas V174	54° 49' 47,92"	13° 34' 23,11"	107	0,07	21097,32	34,52
WTG 40	Vestas V174	54° 49' 10,74"	13° 36' 41,81"	107	0,06	21728,41	41,63
WTG 42	Vestas V174	54° 48' 43,67"	13° 38' 23,30"	107	0,06	22394,93	46,52
WTG 44	Vestas V174	54° 48' 25,28"	13° 39' 31,92"	107	0,05	22931,99	49,66
WTG 45	Vestas V174	54° 48' 16,08"	13° 40' 6,16"	107	0,05	23224,55	51,17
SPARE 46	Vestas V174	54° 48' 6,91"	13° 40' 40,46"	107	0,05	23534,22	52,64
WTG 47	Vestas V174	54° 47' 57,71"	13° 41' 14,76"	107	0,05	23858,41	54,07
WTG 48	Vestas V174	54° 47' 49,09"	13° 41' 49,48"	107	0,04	24213,68	55,44
WTG 49	Vestas V174	54° 47' 41,93"	13° 42' 25,38"	107	0,04	24624,85	56,71
WTG 55	Vestas V174	54° 47' 59,68"	13° 43' 6,37"	107	0,03	25537,95	56,57
WTG 56	Vestas V174	54° 47' 33,65"	13° 43' 13,91"	107	0,03	25221,57	58,27
WTG 57	Vestas V174	54° 47' 26,14"	13° 43' 53,79"	107	0,03	25714,58	59,54
WTG 58	Vestas V174	54° 47' 18,42"	13° 44' 35,46"	107	0,03	26244,75	60,81

Tabelle 13: Koordinatenübersicht über die grün gekennzeichneten analysierten zulässigen Windenergieanlagen des Windparks.



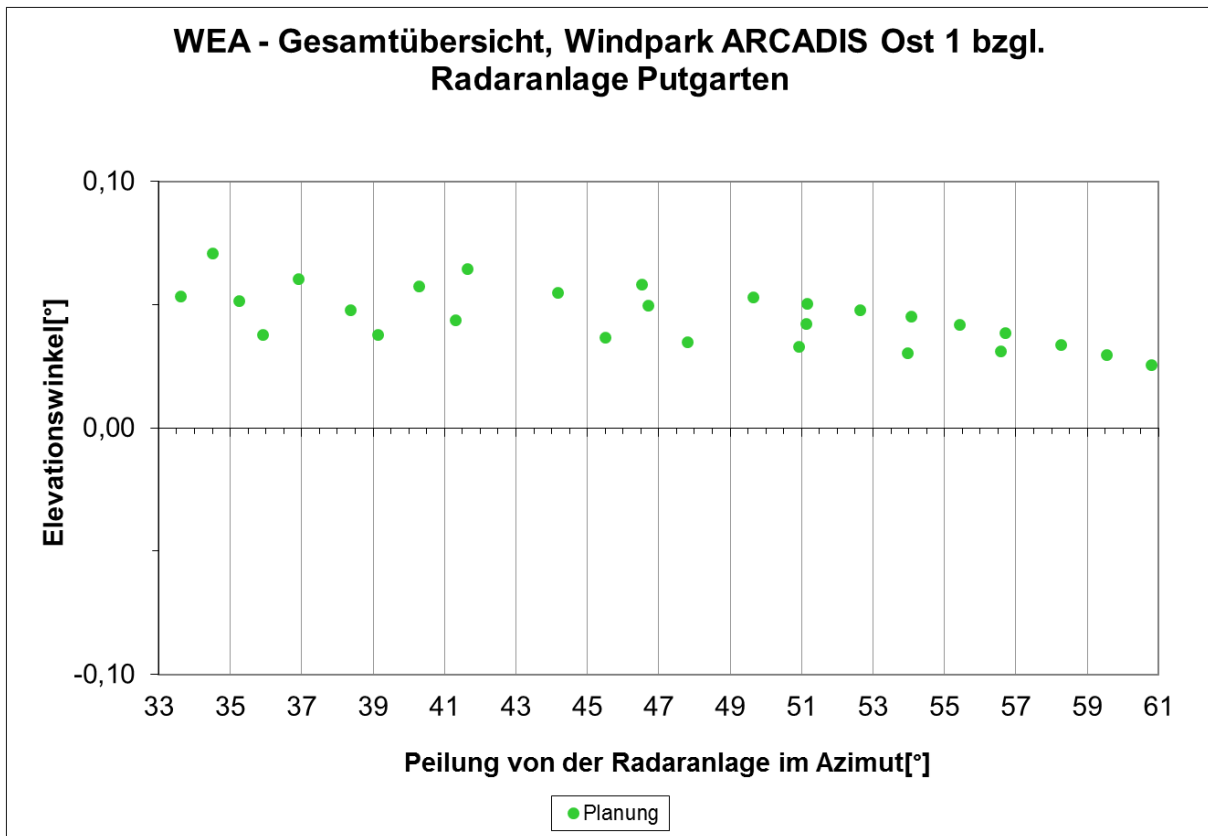


Abbildung 22: Perspektive zur Gondelanordnung gemäß Azimut und Elevation für die Position des Radars Putgarten.



## **6 Bewertung bzgl. Schiffsradare**

Im Bereich der 12-Seemeilen-Zone in der Deutschen Ostsee ist die Errichtung von 28 Windenergieanlagen sowie Nebenanlagen geplant. Das ca. 30 km<sup>2</sup> große Gebiet des Windparks „ARCADIS Ost 1“ liegt ca. 19 km nordöstlich von Kap Arkona/Rügen.

Die Erfassung des Offshore-Windparks durch Schiffsradare und eine mögliche Beeinträchtigung der Schiffsradaranlagen findet überwiegend von Schiffspositionen in den umliegenden Bereichen mit einer Entfernung von ca. 8 km zum Windparkgebiet statt.

***Nachfolgend erfolgt die Bewertung der Planung aus 64 Windenergieanlagen als worst-case Betrachtung gemäß Gutachten MEA62-166/11. Für die geänderte Planung mit 28 Windenergieanlagen ergeben sich radartechnisch geringfügig bessere Bedingungen.***

### **6.1 Betrachtungsgegenstand**

Die geplanten 64 Windenergieanlagen vom Typ Nordex N-150 weisen eine Nabenhöhe von ca. 105 m über MSL auf. Der Säulendurchmesser beträgt ca. 7 m im unteren Bereich sowie ca. 5,5 m im oberen Bereich. Der Rotordurchmesser ist mit ca. 150 m angegeben. Die Gondelabmessungen der WEAs vom Typ Nordex N-150 können mit einer Gondellänge (inkl. Rotornabe) von ca. 20,5 m einer Gondelhöhe von ca. 9 m und einer Breite von ca. 9 m angegeben werden.

Die Anordnung der geplanten WEAs im Windparkgebiet „ARCADIS Ost 1“ sowie die Windparkgrenze sind in der Abbildung 23 dargestellt.

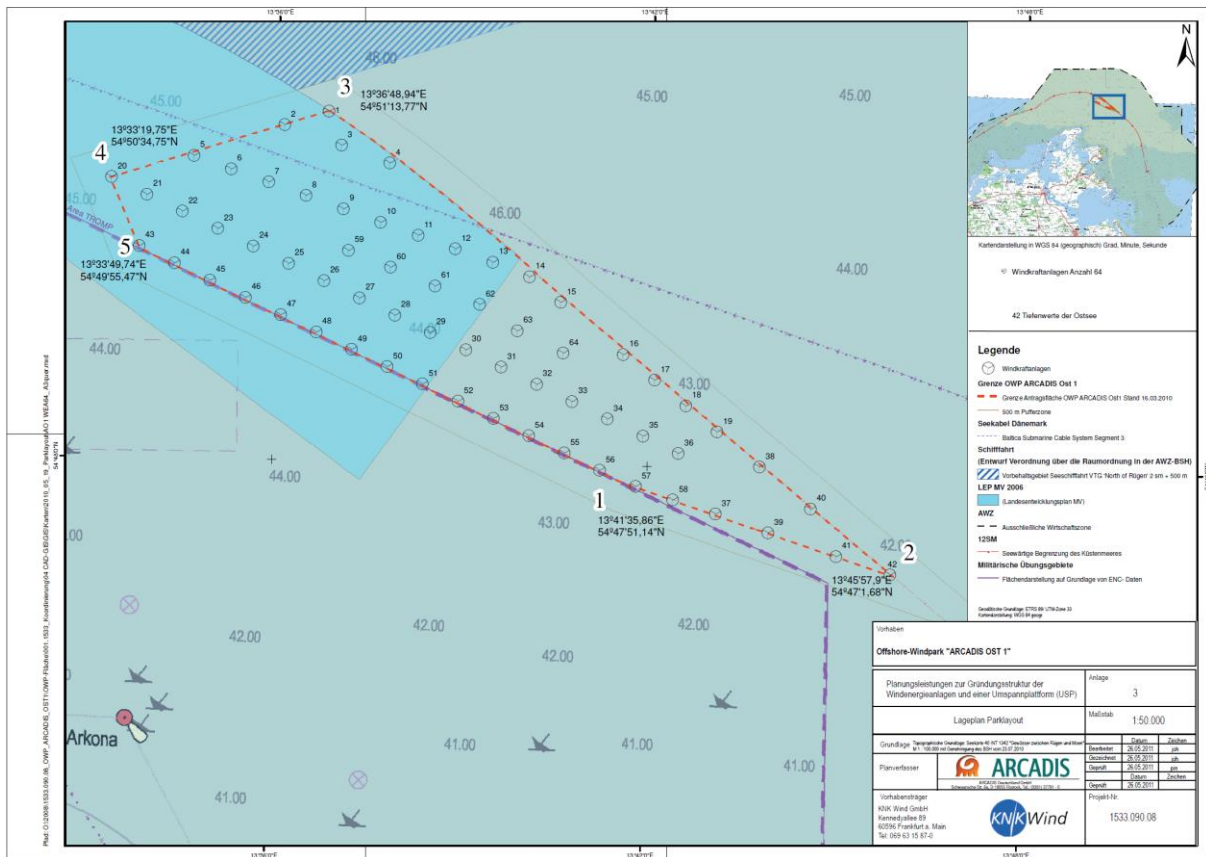


Abbildung 23: Übersicht auf das Windparkgebiet „ARCADIS Ost 1“. Die geplanten WEA-Standorte sowie die Windparkgrenze sind gekennzeichnet.

Die Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage ist nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Insbesondere die Veröffentlichung in öffentlich zugänglichen Medien setzt eine explizite schriftliche Zustimmung durch Airbus Defence and Space voraus. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster – Eintragung vorbehalten. Quellenangabe: Alle genutzten Darstellungen sind durch Airbus Defence and Space, bzw. den Bearbeiter erzeugt worden. Bei Luftaufnahmen wird teilweise auf Google Earth Abbildungen zurückgegriffen.

## **6.2 Untersuchungsmethoden zum Störpotential der geplanten Windenergieanlagen**

Der im Bereich der 12-Seemeilen-Zone in der Deutschen Ostsee geplante Windpark wird in den nachfolgenden Untersuchungen als vollständiger Windpark mit 64 Windenergieanlagen ohne Berücksichtigung der Einflüsse der Welligkeit bzw. Rauigkeit der Wasseroberfläche und der damit verbundenen Reflexionscharakteristika analysiert. Bei einer Berücksichtigung verschiedener Rauigkeiten bzw. Welligkeiten der Wasseroberfläche ergeben sich geringere Reflexionsintensitäten bei der Sekundärausbreitung der Radarwellen. In dem Fall ergeben sich gegenüber der Ausbreitungsanalyse über ebener, idealer Wasseroberfläche geringere Feldstärken. Unterschiede gegenüber den Ergebnissen der durchgeführten Grundlagenuntersuchung zum Störpotential durch Verschattungen, Reflexionen und Beugungserscheinungen ergeben sich in dem Zusammenhang nicht, da hier vergleichenden Betrachtungen angewendet wurden.

### Das zulässige Störpotential eines Windparks wird im Schwerpunkt bestimmt durch:

- a. die Strahlungscharakteristik der Radarsensoren.
- b. den Standort und die Ausrichtung der betrachteten Schiffsradarpositionen bzgl. des Windparks bzw. der WEA-Standorte, vgl. Abbildung 26.
- c. die Reflexionscharakteristik der Windenergieanlagen.
- d. Einfluss der Wasseroberfläche auf die Felddausbreitung
- e. Empfängerempfindlichkeit
- f. Betriebsfrequenz des Radarsystems

### Referenzuntersuchungen:

- a. Signaturtechnische Untersuchung zum Einfluss einer Planung von Windenergieanlagen im Testfeld Cuxhaven auf die Radaranlage des WSA Cuxhaven vom 04.07.2005.
- b. Signaturtechnische Untersuchung zur Planung von Offshore-Windenergieanlagen „BARD Offshore I“ in der Deutschen Bucht bzgl. radarwirksamer Verschattungen und Spiegelzielen von Schiffsradaranlagen vom 30.01.2008

### Beschreibung des Analyseverfahrens:

Die Ausbreitungsuntersuchungen auf der Grundlage der UTD / Uniform Theorie of Diffraction im Betriebsfrequenzbereich sowie bei horizontaler und vertikaler Polarisation der Schiffsradarsysteme erfolgen unter Berücksichtigung von Streufeldern und Beugungserscheinungen, die ihre Ursachen in den geplanten Windenergieanlagen haben. Sich daraus ergebende Wechselwirkungen werden bei den Analysen ebenfalls berücksichtigt. Eine besondere Betrachtung gilt der gegenseitigen Beeinflussung der geplanten WEAs auf das Ausbreitungsfeld. Die Windenergieanlagen wurden dazu stets als 3D-CAD-Objekte nachgebildet.

Die Ausbreitungsanalysen zeigen die Intensitätsverteilung des elektromagnetischen Feldes in einer Höhe von 40 m über NN in einem Seegebiet von 30 x 30 km um den Windpark bzgl. der gewählten Schiffsradarstandorte. Analysiert werden bei diesen Untersuchungen das direkte Feld bzgl. Verschattungen sowie das reflektiergestreute Feld.

Die Kreisbogenanalysen zeigen die Intensitätsverteilung des elektromagnetischen Feldes entlang eines Kreisbogenabschnittes in stets gleicher Distanz/Radius zum Radar. Dabei werden für vier verschiedene Schiffsradarpositionen mit einem Radius von 25 km sowie über einen Winkelbereich von 120° Analysen durchgeführt – vgl.

Abbildung 26. Der geplante Windpark befindet sich bei den Analysen jeweils zwischen der Radarposition und dem Analysepfad/Kreisbogenabschnitt.

Die Kreisanalysen zeigen die Intensitätsverteilung des elektromagnetischen Feldes auf einem Analysekreis mit einem Radius von 10 km um das Windparkgebiet – vgl. Abbildung 32. Als Schiffsradarpositionen werden die vier angegebenen Standort um das Windparkgebiet zur Analyse verschiedener Einstrahlungssituationen gewählt. Analysiert werden bei diesen Untersuchungen das direkte Feld bzgl. Verschattungen sowie das reflektierte-gestreute Feld.

Die Winkelfehleranalysen werden für eine einzelne Windenergieanlage vom Typ Nordex N-150 durchgeführt. Die Radarposition wird hierbei in einer Entfernung von ca. 10 km zur WEA angenommen. Der Analyseradius beträgt für die Untersuchung ca. 20 km.

Die gesamten Untersuchungen werden für die Frequenzen um 5,6 GHz sowie 9,2 GHz durchgeführt.

## **6.3 Bewertung des Einflusses des Windparks**

Für die Bewertung des Einflusses des geplanten Windparks auf verschiedene Schiffspositionen werden die Simulationen auf mathematischer Nullebene durchgeführt.

### **6.3.1 Ausbreitungsanalysen**

Bei der Analyse gemäß Abbildung 24 sind die Streufelderscheinungen durch den geplanten Windpark in einem Gebiet von ca. 30 km x 30 km um den Windpark in einer Schnitthöhe von ca. 40 m über der mathematischen Nullebene dargestellt. Das Windparkgebiet ist rot gekennzeichnet. Die gewählte Position der Radaranlage (Pos 1) ist im Untersuchungsgebiet durch eine blaue Markierung gekennzeichnet. Die Analyse gemäß Abbildung 25 zeigt das direkte Ausbreitungsfeld ausgehend von der Radarposition (Pos 2) in einem Gebiet von ca. 30 km x 30 km um den Windpark in einer Schnitthöhe von ca. 40 m über der mathematischen Nullebene. Die Verschattungseinflüsse durch die einzelnen Windenergieanlagen sind durch die schmalen Verschattungssektoren im Bereich des Windparks dargestellt. Die Abbildung 24 und Abbildung 25 zeigen die Ergebnisse bei einer Frequenz von 9,2 GHz.



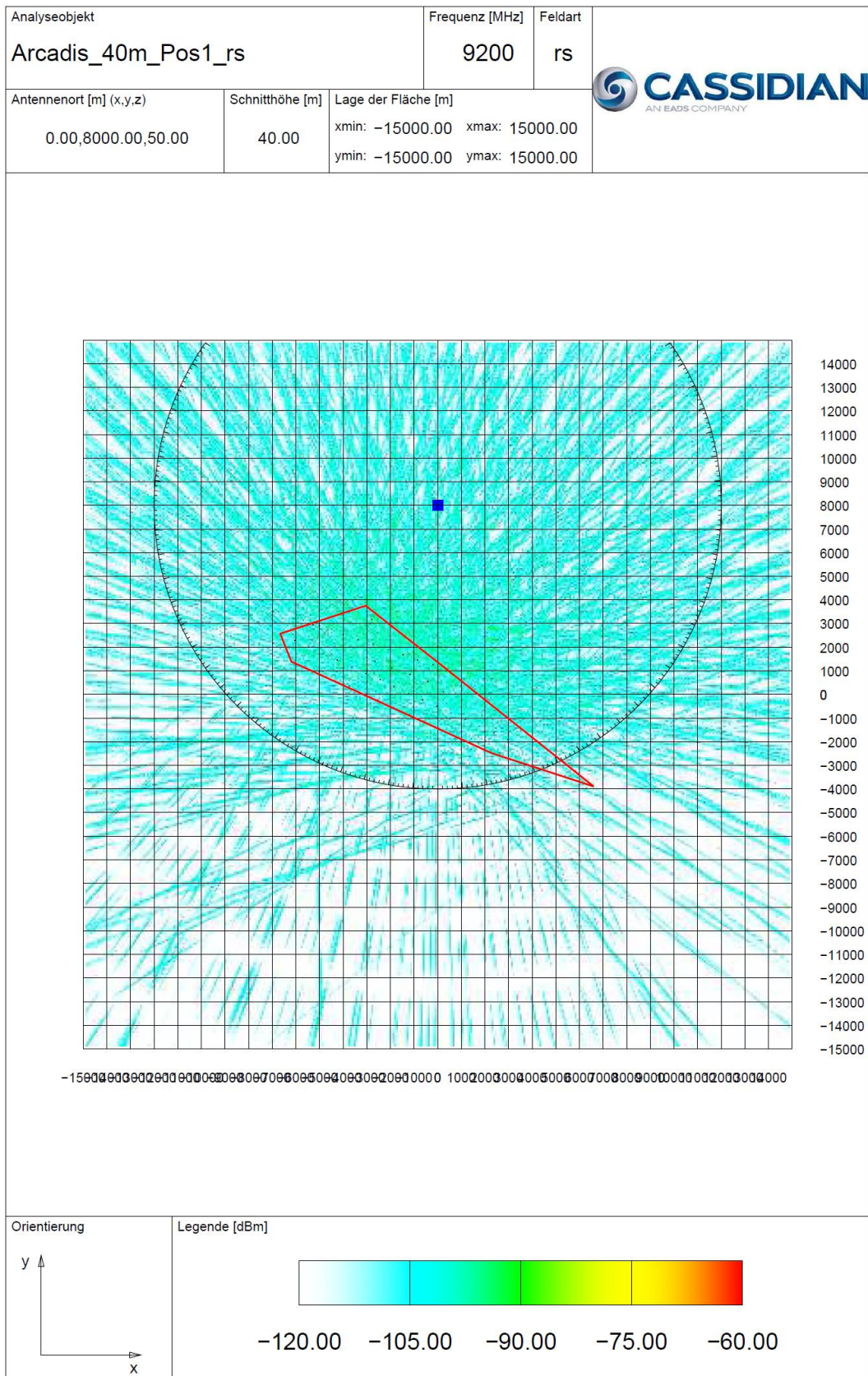


Abbildung 24: Analyse des reflektierten-gestreuten Ausbreitungsfeldes für den Windpark auf mathematischer Nullebene in einer Schnitthöhe von ca. 40 m über NN für die Radarposition 1

Die Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage ist nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Insbesondere die Veröffentlichung in öffentlich zugänglichen Medien setzt eine explizite schriftliche Zustimmung durch Airbus Defence and Space voraus. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster – Eintragung vorbehalten. Quellenangabe: Alle genutzten Darstellungen sind durch Airbus Defence and Space, bzw. den Bearbeiter erzeugt worden. Bei Luftaufnahmen wird teilweise auf Google Earth Abbildungen zurückgegriffen.



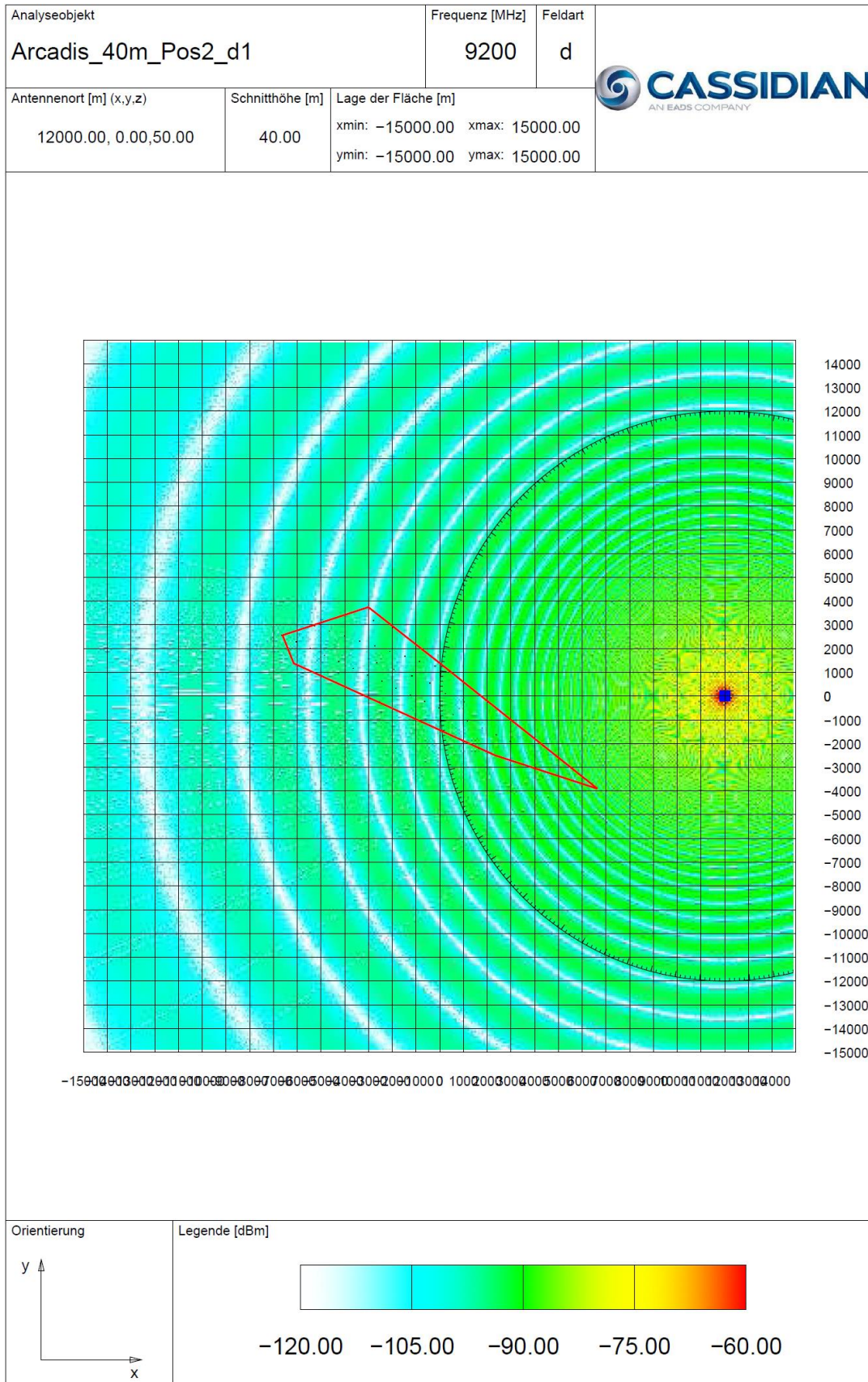


Abbildung 25: Analyse des direkten Ausbreitungsfeldes für den Windpark auf mathematischer Nullebene in einer Schnitthöhe von ca. 40 m über NN für die Radarposition 2

Die Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage ist nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Insbesondere die Veröffentlichung in öffentlich zugänglichen Medien setzt eine explizite schriftliche Zustimmung durch Airbus Defence and Space voraus. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster – Eintragung vorbehalten. Quellenangabe: Alle genutzten Darstellungen sind durch Airbus Defence and Space, bzw. den Bearbeiter erzeugt worden. Bei Luftaufnahmen wird teilweise auf Google Earth Abbildungen zurückgegriffen.

In der Abbildung 24 ist auf der Grundlage der Reflexions- und Streufelder zu erkennen, dass sich die Streuungen und Reflexionen durch die Windenergieanlagen extensiv über einen großen Azimutbereich in nordwestliche bis nordöstliche Richtung zurück zur Radarposition auswirken. Diese Reflexionen bzw. Streuungen werden vorwiegend durch die WEA-Säulen hervorgerufen. Zudem sind zusätzliche Streufelderscheinungen mit sehr geringerer Intensität in südlicher Richtung festzustellen, die sich durch die unterschiedlichen Ausrichtungen der Gondeln sowie Rotorblätter der einzelnen Windenergieanlagen begründen. Gerichte Reflexionen durch Überlagerungen werden nicht beobachtet.

In der Abbildung 25 ist auf der Grundlage des direkten Ausbreitungsfeldes zu erkennen, dass sich durch die einzelnen Windenergieanlagen schmale Verschattungssektoren bilden, die sich hinter dem Windpark auswirken. In diesen schmalen Verschattungssektoren regeneriert sich das direkte Ausbreitungsfeld aufgrund von Beugungseffekten sowie Streuungen an den WEAs mit zunehmender Entfernung. Durch die Beugung des Ausbreitungsfeldes an den Kanten der einzelnen WEAs sind hierdurch hervorgerufene messtechnisch feststellbare Winkelfehler aufgrund der geringen Aspektbreite der WEA-Anlagensäulenbreiten von ca. 5,5 m bis 7 m sowie des großen Abstandes zwischen den Schiffpositionen und des Windparks auszuschließen – vgl. Kapitel 6.3.4 zur Winkelfehleranalyse.

### 6.3.2 Kreisbogenanalysen

Die Kreisbogenanalysen werden für vier Radarstandorte durchgeführt. Die Radarpositionen Pos 1 und Pos 3 entsprechen Schiffpositionen mit einem Abstand zum Windparkzentrum von ca. 8 km zur Betrachtung der breiten Aspektbreite bei geringer Tiefenstaffelung der Windenergieanlagen. Die Radarpositionen Pos 2 und Pos 4 werden für die Betrachtung der schmalen Aspektbreite des Windparks bei einer großen Tiefenstaffelung der WEAs analysiert. Die Radien der Kreisbogenanalysen betragen jeweils 25 km bei einem Winkelbereich von  $120^\circ$  – gemäß Abbildung 26.

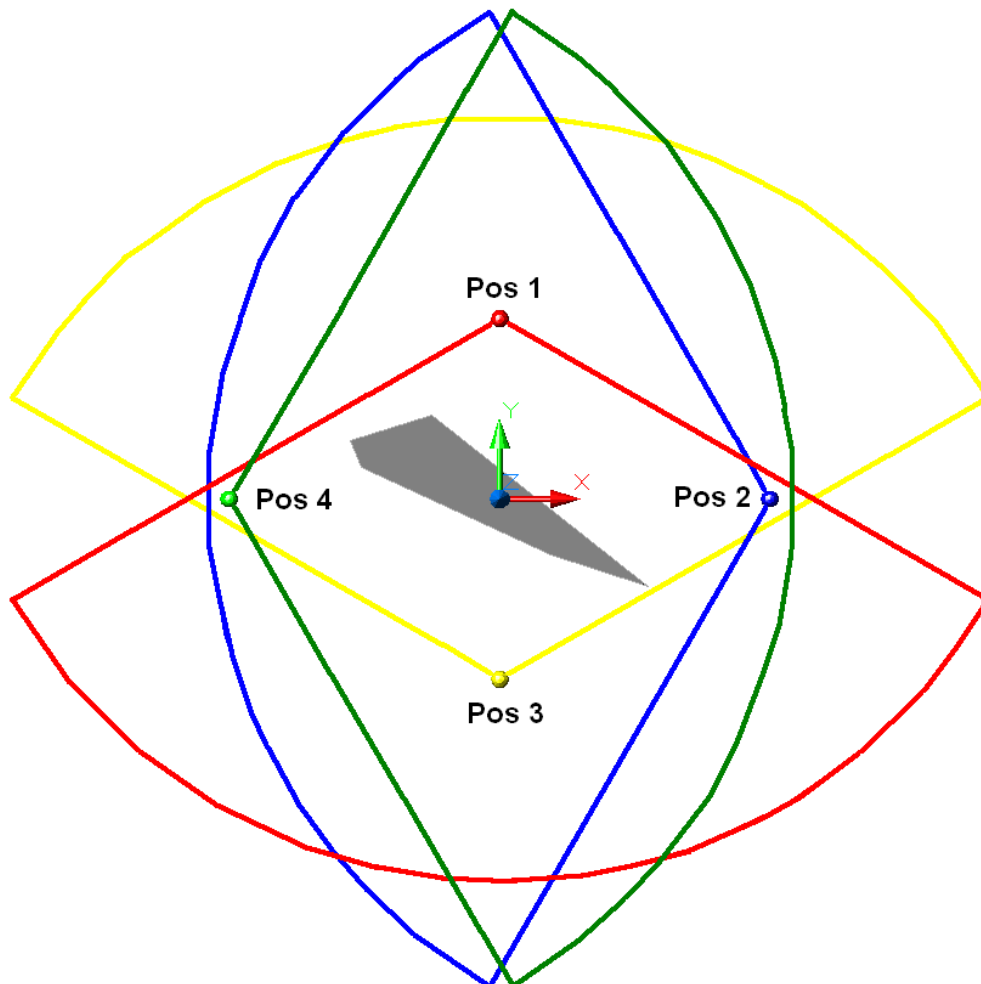


Abbildung 26: Kreisbogenanalysen für die verschiedenen Schiffsradarpositionen 1 bis 4 für den Windpark – grau dargestellt – auf mathematischer Nullebene mit einem Radius von jeweils 25 km. Der Winkelbereich der Kreisbogenanalysen beträgt jeweils  $120^\circ$ .

Die Kreisbogenanalysen werden für die Betriebsfrequenzen der Radaranlagen von 5,6 GHz sowie 9,2 GHz durchgeführt. Dargestellt sind die Ergebnisse für 9,2 GHz. Für 5,6 GHz ergeben sich gleichwertige betroffene Azimutwinkelbereiche.

Gemäß Abbildung 27 ist das direkte Feld für die Radarposition 1 bei einer Frequenz von 9,2 GHz entlang des Analysepfads dargestellt.

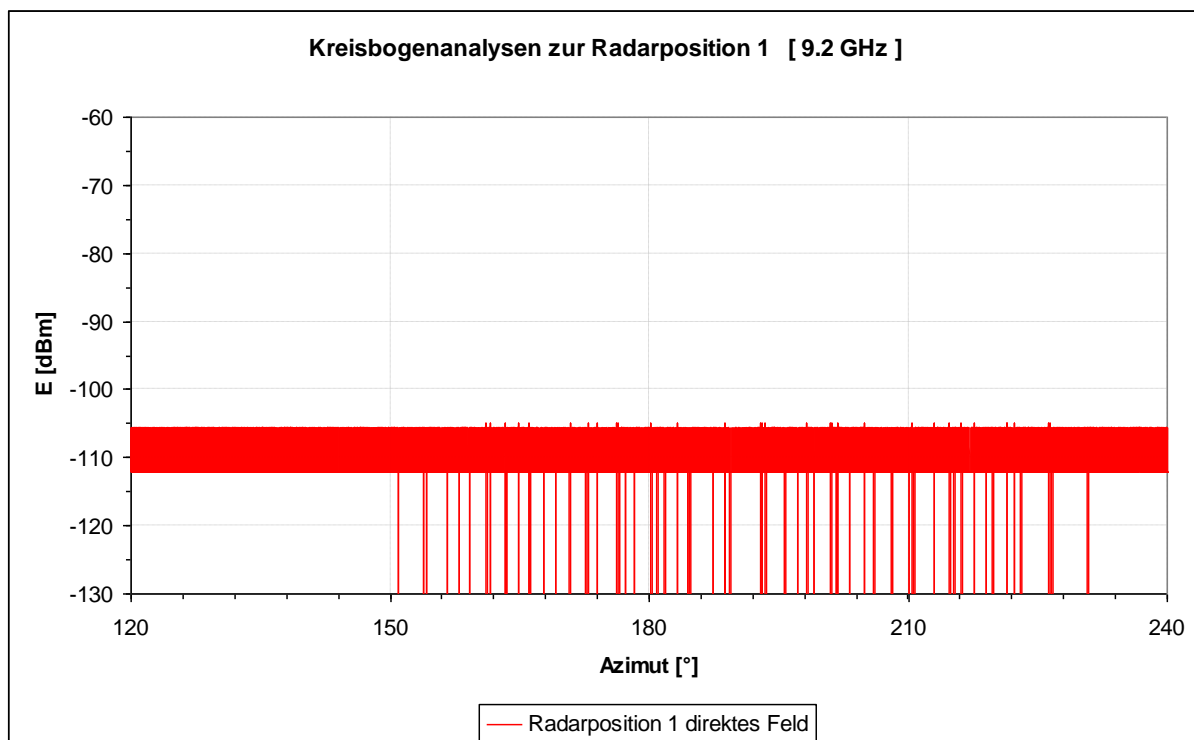


Abbildung 27: Kreisbogenanalysen des direkten Feldes für die Radarposition 1 bei einer Frequenz von 9,2 GHz.

Die Abbildung 27 zeigt in einem Azimutwinkelbereich von ca. 80° Verschattungseinflüsse der Windenergieanlagen. Aufgrund der perspektivisch ausgedehnten Anordnung der Windkraftanlagen im Windpark sind Verschattungseinflüsse als schmale Sektoren über den gesamten Winkelbereich zwischen 150° und 230° im Azimut festzustellen. Die Feldstärkeminderungen sind aus numerischen Gründen auf eine Minderung von -20 dBm begrenzt dargestellt.

Gemäß Abbildung 7 ist das direkte-gestreuete Feld für die Radarposition 1 bei einer Frequenz von 9,2 GHz entlang des Analysepfads dargestellt.

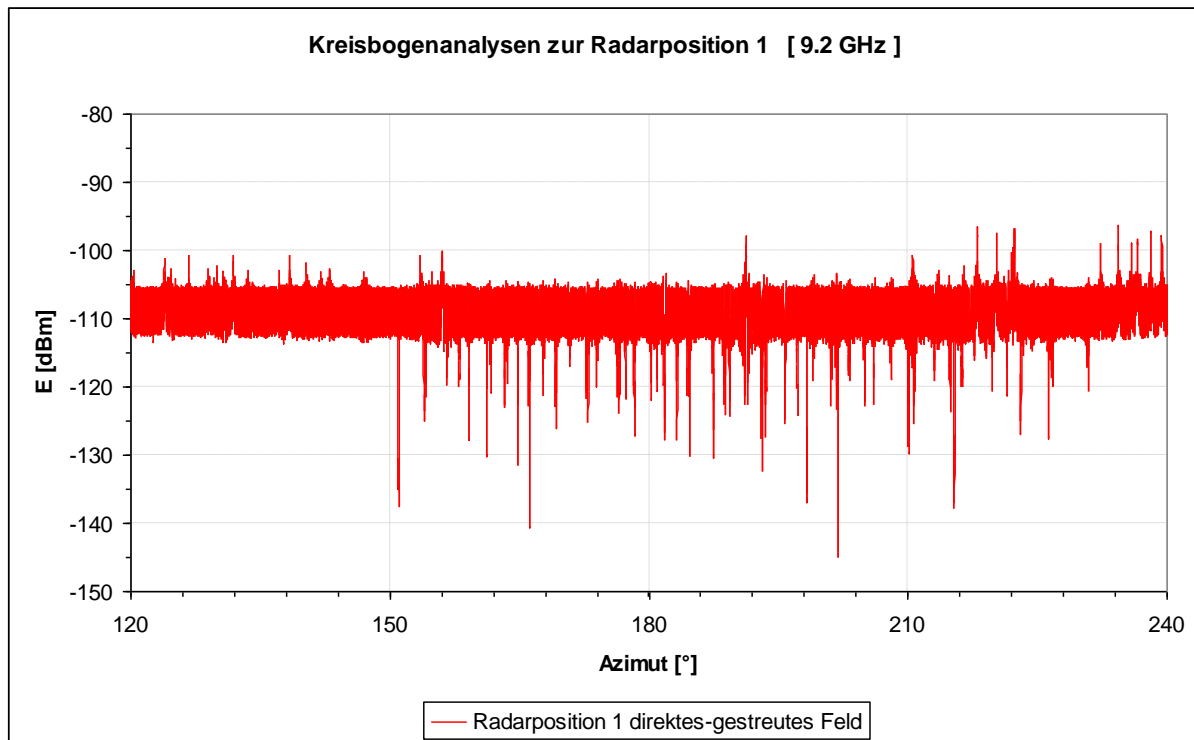


Abbildung 28: Kreisbogenanalysen des direkten-gestreuerten Feldes für die Radarposition 1 bei einer Frequenz von 9,2 GHz.

Die Abbildung 28 zeigt, dass durch die Beugungs- und Streueffekte an den Kanten der Windenergieanlagen Feldanteile in den Schattenbereich der WEAs gelenkt werden. Durch die Überlagerung des direkten Feldes und des gestreuten Feldes ergeben sich zum Teil größere Feldstärkeintensitäten gegenüber dem ungestörten Feld. In der Abbildung 28 sind Feldstärkeschwankungen von maximal ca. 15 dB mit geringer azimuthaler Ausdehnung festzustellen, die sich in einem Winkelbereich von ca. 80° auswirken.

Gemäß Abbildung 29 ist das direkte-gestreurte Feld für die Radarposition 2 bei einer Frequenz von 9,2 GHz entlang des Analysepfads dargestellt.

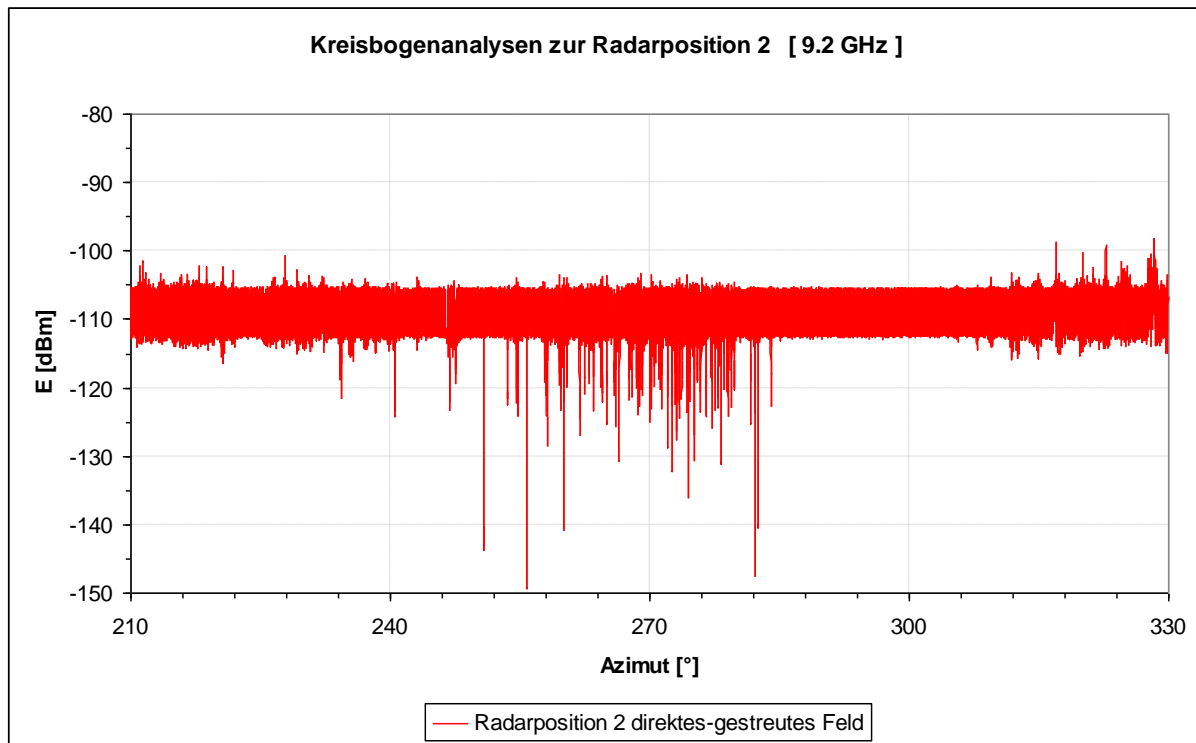


Abbildung 29: Kreisbogenanalysen des direkten-gestreurten Feldes für die Radarposition 2 bei einer Frequenz von 9,2 GHz.

Die Abbildung 29 zeigt, dass durch die Beugungs- und Streueffekte an den Kanten der Windenergieanlagen Feldanteile in den Schattenbereich der WEAs gelenkt werden. Durch die Überlagerung des direkten Feldes und des gestreurten Feldes ergeben sich zum Teil größere Feldstärkeintensitäten gegenüber dem ungesteurten Feld. In der Abbildung 29 sind Feldstärke-schwankungen von maximal ca. 15 dB mit geringer azimuthaler Ausdehnung festzustellen, die sich verdichtet in einem schmale- ren Winkelbereich von ca. 30° auswirken. Aufgrund der perspektivischen Verdichtung der Windkraftanlagen im Zentrum des Windparks ist eine Zunahme des Verschattungs- einflusses im mittleren Winkelbereich zwischen 270° und 280° im Azimut festzustellen.



Gemäß Abbildung 30 ist das direkte-gestreuete Feld für die Radarposition 3 bei einer Frequenz von 9,2 GHz entlang des Analysepfads dargestellt.

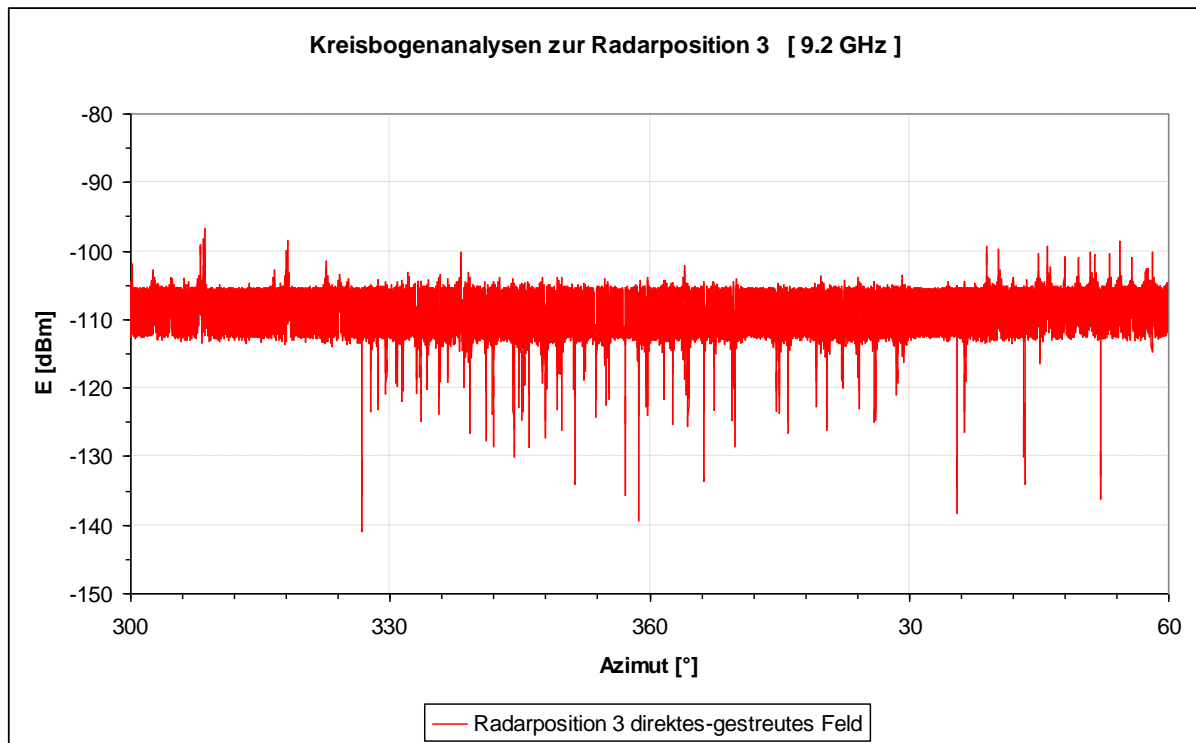


Abbildung 30: Kreisbogenanalysen des direkten-gestreuerten Feldes für die Radarposition 3 bei einer Frequenz von 9,2 GHz.

Die Abbildung 30 zeigt, dass durch die Beugungs- und Streueffekte an den Kanten der Windenergieanlagen Feldanteile in den Schattenbereich der WEAs gelenkt werden. Durch die Überlagerung des direkten Feldes und des gestreuten Feldes ergeben sich zum Teil größere Feldstärkeintensitäten gegenüber dem ungestörten Feld. In der Abbildung 30 sind Feldstärkeschwankungen von maximal ca. 15 dB mit geringer azimuthaler Ausdehnung festzustellen, die sich in einem Winkelbereich von ca. 70° auswirken.

Gemäß Abbildung 31 ist das direkte-gestreurte Feld für die Radarposition 4 bei einer Frequenz von 9,2 GHz entlang des Analysepfads dargestellt.

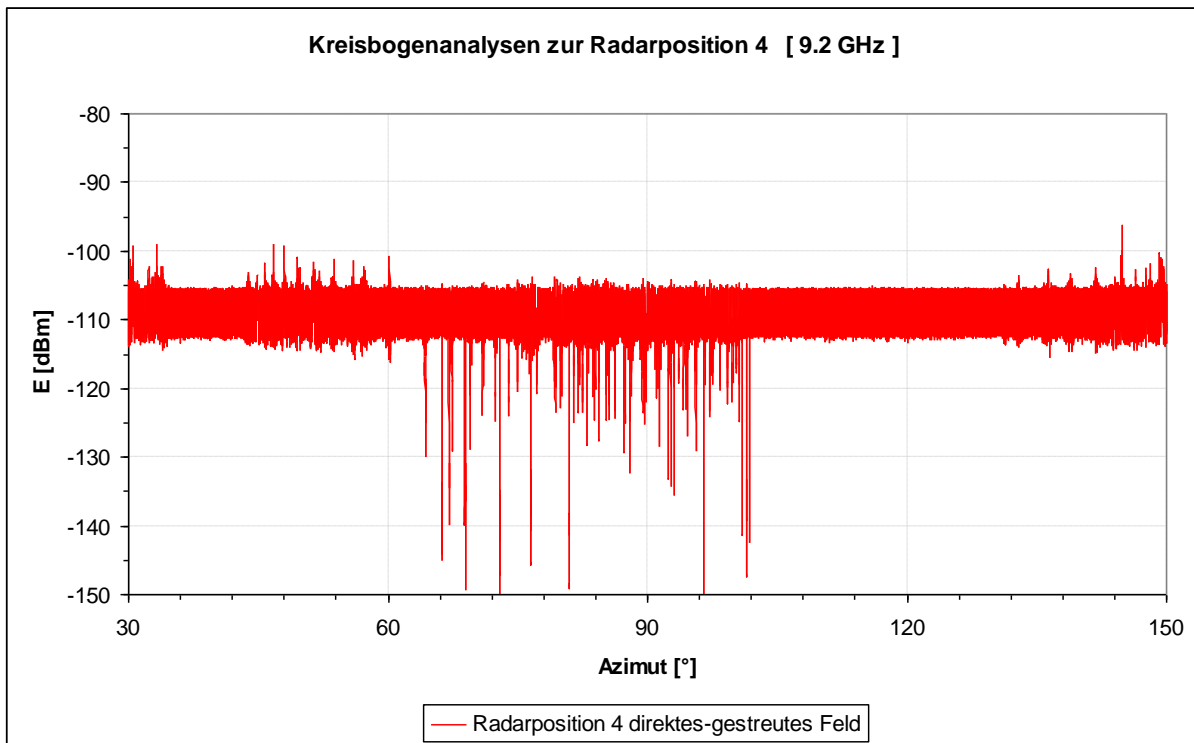


Abbildung 31: Kreisbogenanalysen des direkten-gestreurten Feldes für die Radarposition 4 bei einer Frequenz von 9,2 GHz.

Die Abbildung 31 zeigt, dass durch die Beugungs- und Streueffekte an den Kanten der Windenergieanlagen Feldanteile in den Schattenbereich der WEAs gelenkt werden. Durch die Überlagerung des direkten Feldes und des gestreurten Feldes ergeben sich zum Teil größere Feldstärkeintensitäten gegenüber dem ungestourten Feld. In der Abbildung 31 sind Feldstärkeschwankungen von maximal ca. 15 dB mit geringer azimuthaler Ausdehnung festzustellen, die sich verdichtet in einem schmale- ren Winkelbereich von ca. 35° auswirken. Aufgrund der perspektivischen Verdichtung der Windkraftanlagen im Zentrum des Windparks ist eine Zunahme des Verschattungs- einflusses im mittleren Winkelbereich zwischen 80° und 100° im Azimut festzustellen.

### 6.3.3 Kreisanalysen

Die Kreisanalysen werden für die Radarpositionen Pos 1 bis Pos 4 analysiert. Dabei wird die Detektierbarkeit eines Objektes an verschiedenen Orten entlang des Kreises, der unterschiedliche Distanzen zum Radar sowie unterschiedliche Einflüsse durch den Windpark bzgl. der Durchdringung der elektromagnetischen Welle darstellt. Die Radarpositionen Pos 1 und Pos 3 werden für die Betrachtung der breiten Aspektbreite des Windparks bei einer geringen Tiefenstaffelung der WEAs und die Radarstandorte Pos 2 und Pos 4 für die schmale Aspektbreite des Windparks bei großer Tiefenstaffelung der Windenergieanlagen gewählt. Die Lage des Analysekreises um das Windparkgebiet entspricht für die Untersuchungen der Standorte dem blau gekennzeichneten Analysepfad gemäß Abbildung 32. Der Radius des Analysekreises beträgt 10 km.

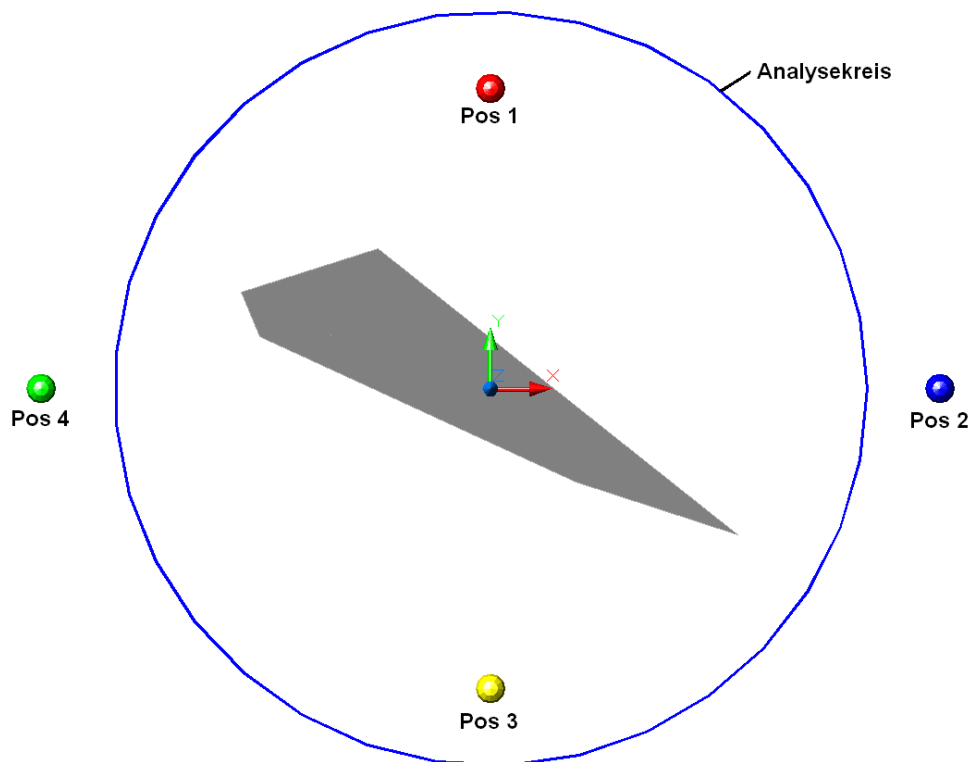


Abbildung 32: Kreisanalysen für die Schiffsradarpositionen 1 bis 4 für den Windpark – grau dargestellt – auf mathematischer Nullebene mit einem Radius von 10 km.

Die Kreisanalysen werden für die Standorte 1 bis 4 für die Betriebsfrequenzen von 5,6 GHz sowie 9,2 GHz durchgeführt.

In den folgenden Abbildungen werden die Analysen für das direkte-gestreute Feld, das reflektierte-gestreute Feld sowie die Differenz aus dem direkten Feld und dem reflektierten-gestreuten Feld bei der Betriebsfrequenz von 9,2 GHz dargestellt. Die Untersuchungen werden unter Berücksichtigung der Bodenreflexionen (Wasseroberfläche) sowie bei unterdrückten Bodenreflexionen durchgeführt.

Die Abbildung 33 gibt die Verteilung des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für den Radarstandort 1 unter Berücksichtigung der Bodenreflexionen wieder.

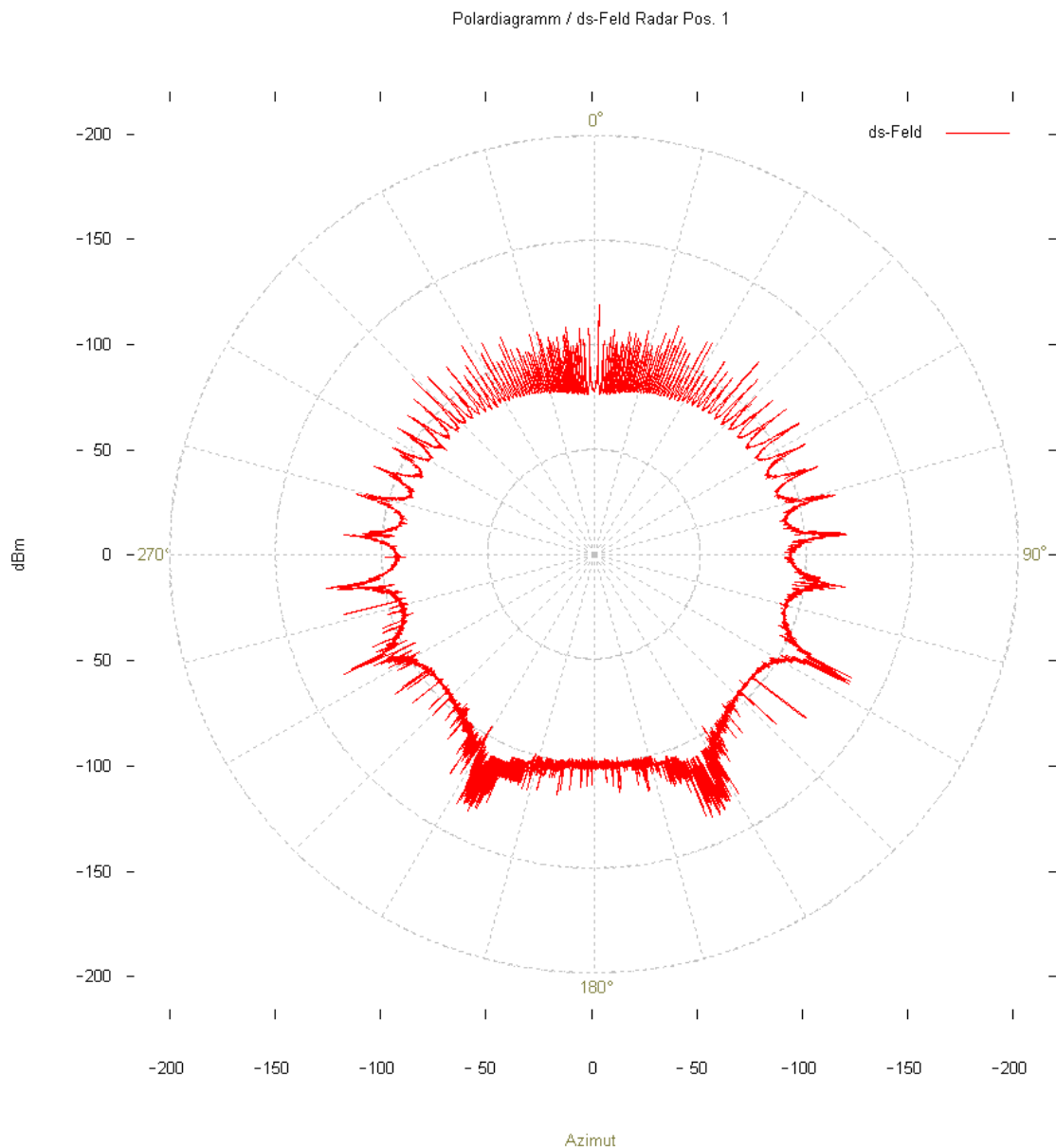


Abbildung 33: Kreisanalysen des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für die Radarposition 1 bei einer Frequenz von 9,2 GHz mit Bodenreflexionen.

Die Abbildung 34 gibt die Verteilung des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für den Radarstandort 1 bei unterdrückten Bodenreflexionen wieder.

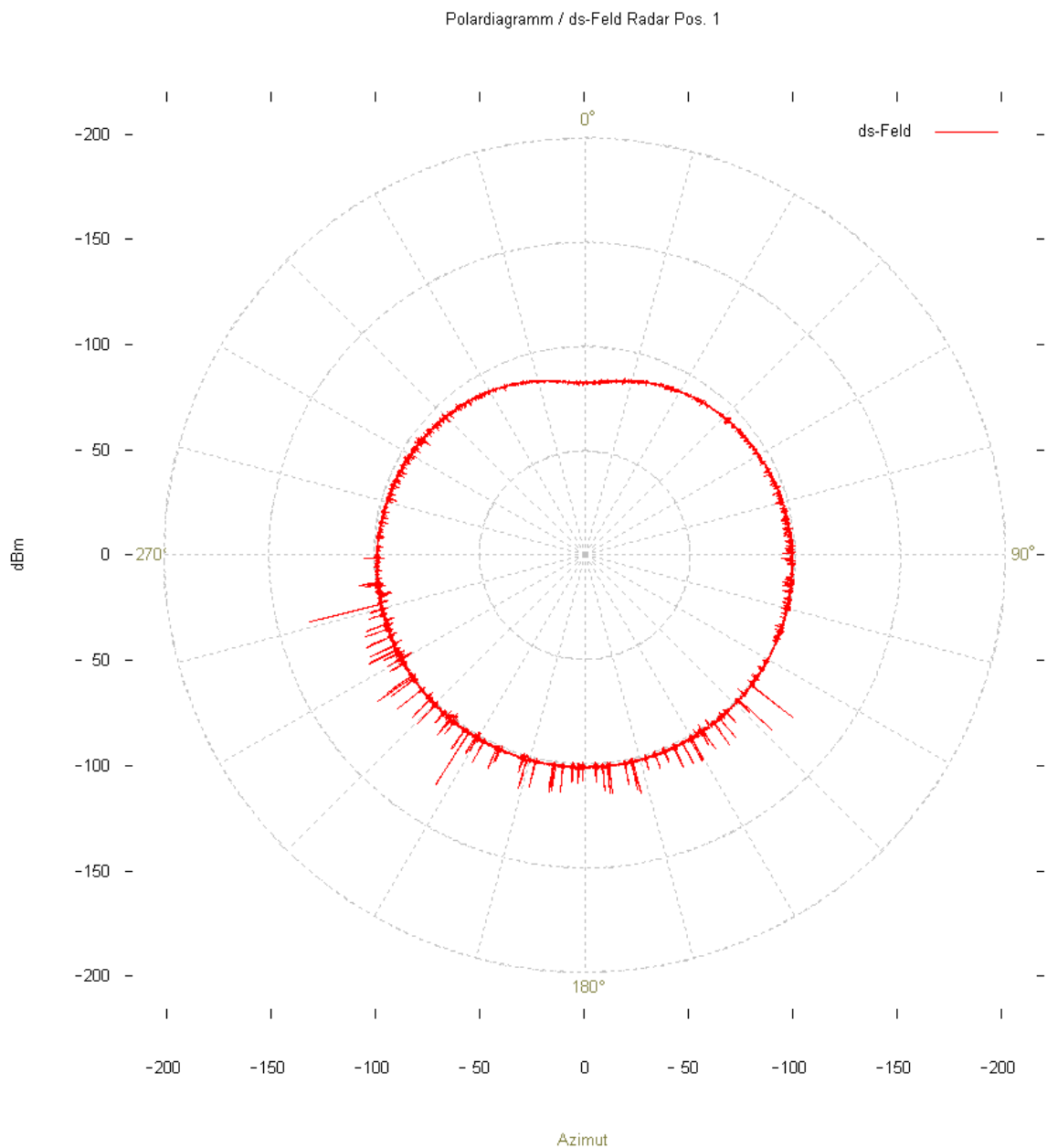


Abbildung 34: Kreisanalysen des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für die Radarposition 1 bei einer Frequenz von 9,2 GHz bei unterdrückten Bodenreflexionen.



Die Abbildung 35 gibt die Verteilung des reflektierten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für den Radarstandort 1 wieder.

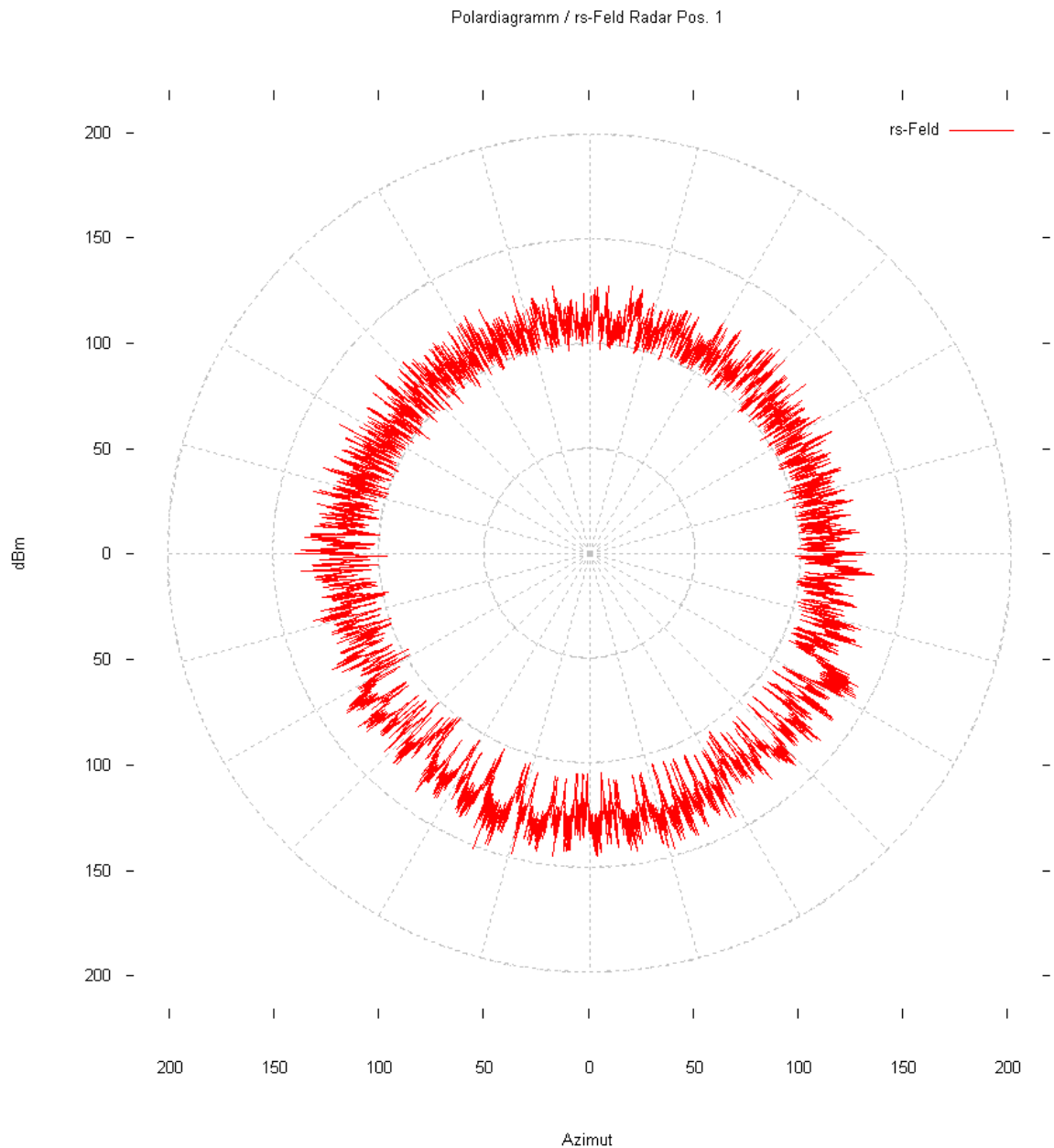


Abbildung 35: Kreisanalysen des reflektierten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für die Radarposition 1 bei einer Frequenz von 9,2 GHz.

Die Abbildung 36 gibt die Differenz aus dem direkten Feld und dem reflektierten-gestreuten Feld um das Windparkgebiet für den Radarstandort 1 bei unterdrückten Bodenreflexionen wieder.

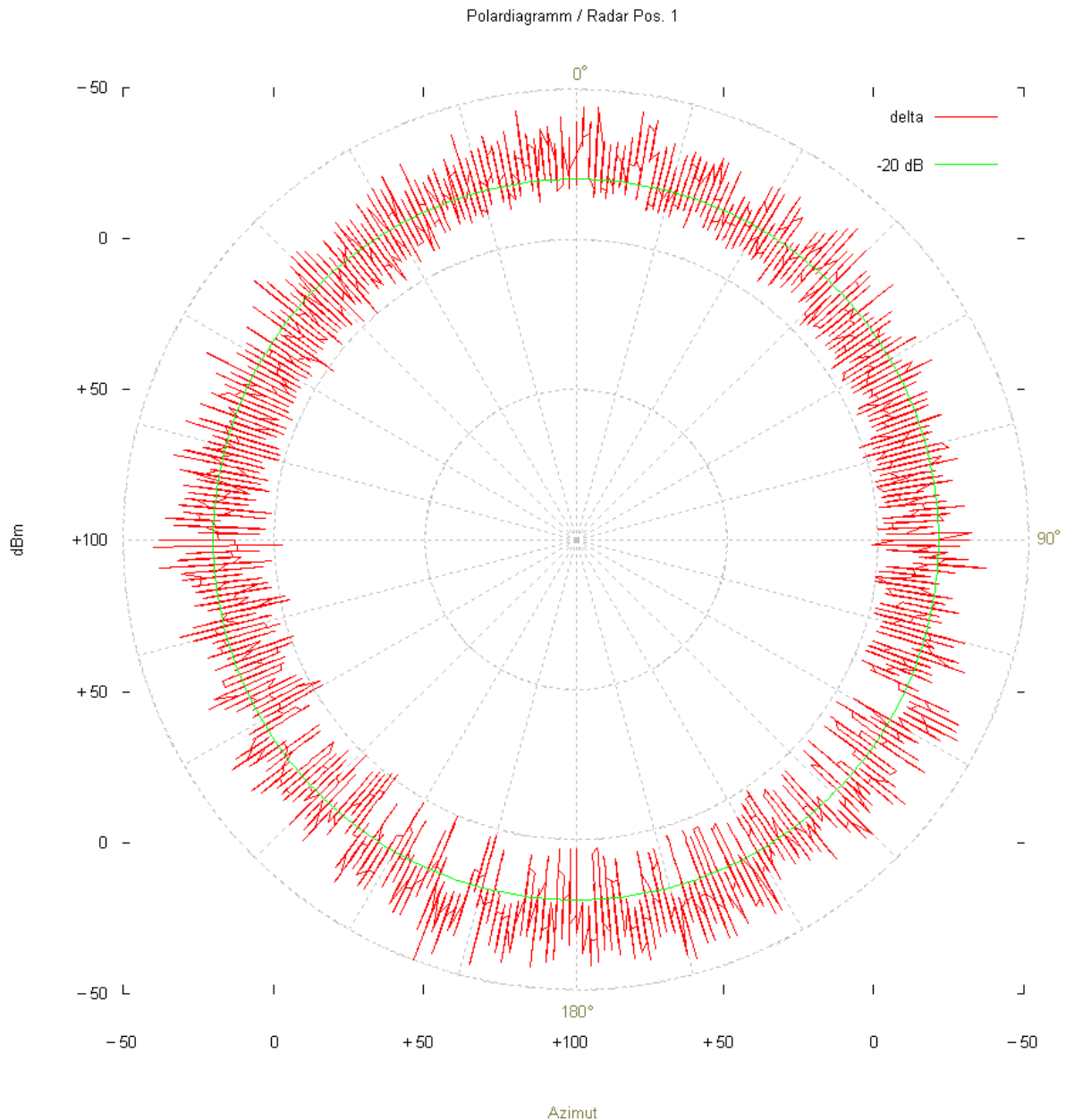


Abbildung 36: Kreisanalysen der Differenz aus dem direkten Feld und dem reflektierten-gestreuten Feld um das Windparkgebiet für die Radarposition 1 bei einer Frequenz von 9,2 GHz.

Die Kreisanalysen für das direkte-gestreute Feld unter Berücksichtigung der Bodenreflexionen gemäß Abbildung 33 zeigen zwischen der Radarposition und dem Windpark im gesamten Winkelbereich deutliche Feldstärkeänderungen. Diese Feldverläufe begründen sich durch den Verlauf des Analysekreises und den Umstand des durch Oberflächenreflexionen hervorgerufenen Lobingeffektes, welcher durch die konzentrischen Kreise um die Antennenposition gekennzeichnet ist. Der Verschattungseinfluss auf das direkte Feld durch den Windpark im Winkelbereich zwischen  $120^\circ$  und  $255^\circ$  wird durch die Bodeneinflüsse überlagert.

Die Analyseergebnisse für das direkte-gestreute Feld bei unterdrückten Oberflächenreflexionen gemäß Abbildung 34 zeigen die Verschattungseinflüsse durch den Windpark in dem Winkelbereich zwischen  $120^\circ$  und  $255^\circ$ . Ohne den Einfluss der Oberflächenreflexionen lassen sich hieraus zusammen mit den Ergebnissen des reflektierten-gestreuten Feldes die Auswirkungen durch den Windpark auf das Ausbreitungsfeld gesondert betrachten – gemäß Abbildung 36.

Die Kreisanalysen für das reflektierte-gestreute Feld gemäß Abbildung 35 zeigen Reflexions- und Streufelderscheinungen, die sich im gesamten Azimutwinkelbereich um den Windpark auswirken. Der Einfluss der Bodenreflexionen hat für das reflektierte-gestreute Feld, welches von den Windenergieanlagen generiert wird nur geringe Auswirkungen auf die Feldverteilung.

Die Kreisanalysen gemäß Abbildung 36 geben die Differenz aus dem direkten Feld und dem reflektierten-gestreuten Feld wieder. Durch diese Analysen lässt sich beurteilen, in welchen Raumrichtungen im Azimut eine durch Reflexionen bzw. Streufelder hervorgerufene Beeinflussung durch den Windpark generiert werden kann. Ein Feldstärkeunterschied zwischen dem direkten und dem reflektierten-gestreuten Feld größer als ca.  $-20^\circ$  dB kann zu einer Beeinträchtigung des Ausbreitungsfeldes führen. Gemäß Abbildung 36 sind keine signifikanten Beeinflussungen durch Verschattungseffekte festzustellen. Es sind nur sehr geringe Einflüsse durch Reflexionen bzw. Streufelder im Azimutwinkelbereich zwischen  $45^\circ$  und  $110^\circ$  sowie  $240^\circ$  und  $315^\circ$  um den Windpark aufgrund der geringfügigen Unterschreitung der Feldstärkedifferenz von ca.  $-20$  dB gegenüber dem direkten Feld festzustellen.

Die Abbildung 37 gibt die Verteilung des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für den Radarstandort 2 unter Berücksichtigung der Bodenreflexionen wieder.

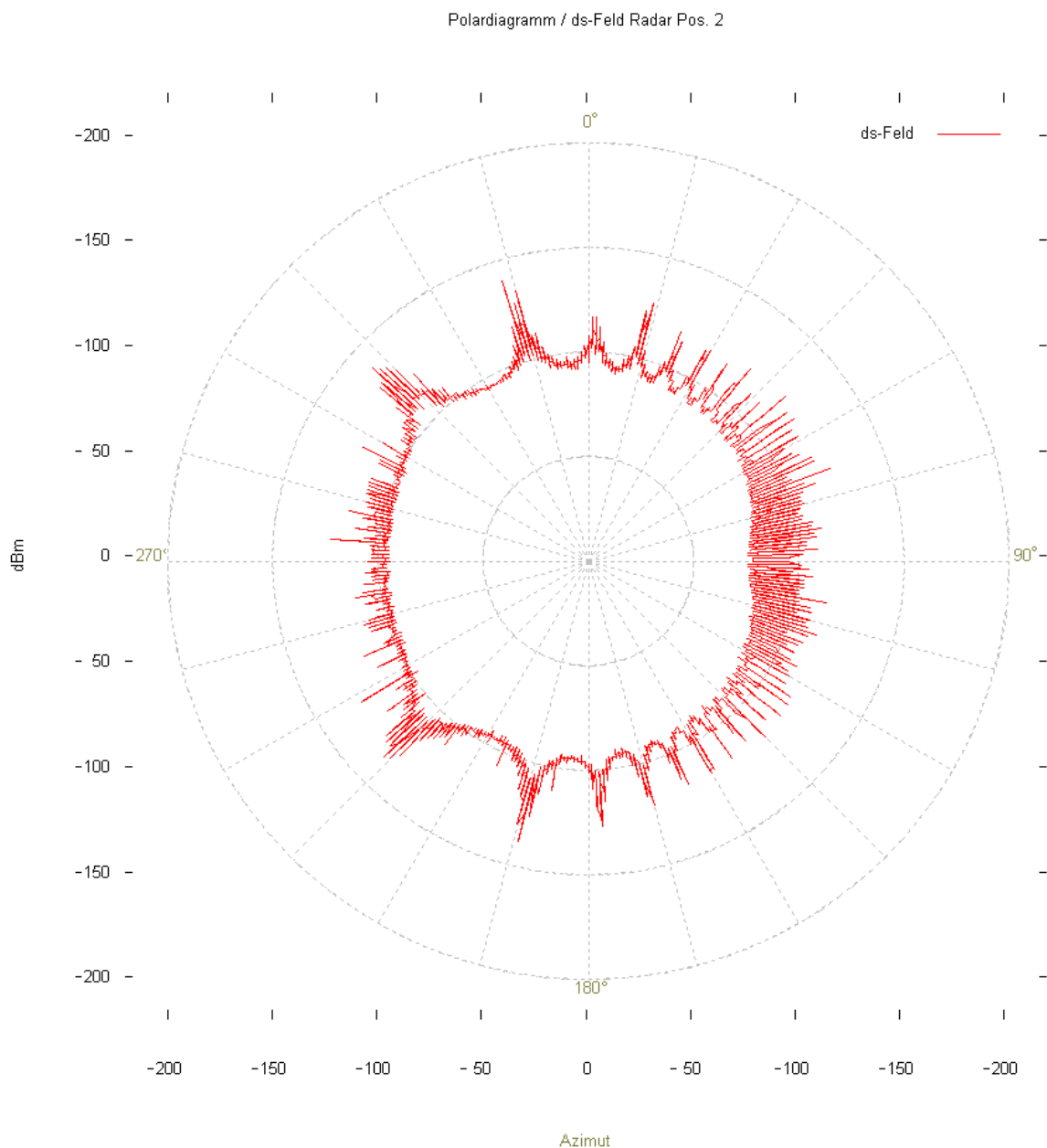


Abbildung 37: Kreisanalysen des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für die Radarposition 2 bei einer Frequenz von 9,2 GHz mit Bodenreflexionen.

Die Abbildung 38 gibt die Verteilung des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für den Radarstandort 2 bei unterdrückten Bodenreflexionen wieder.

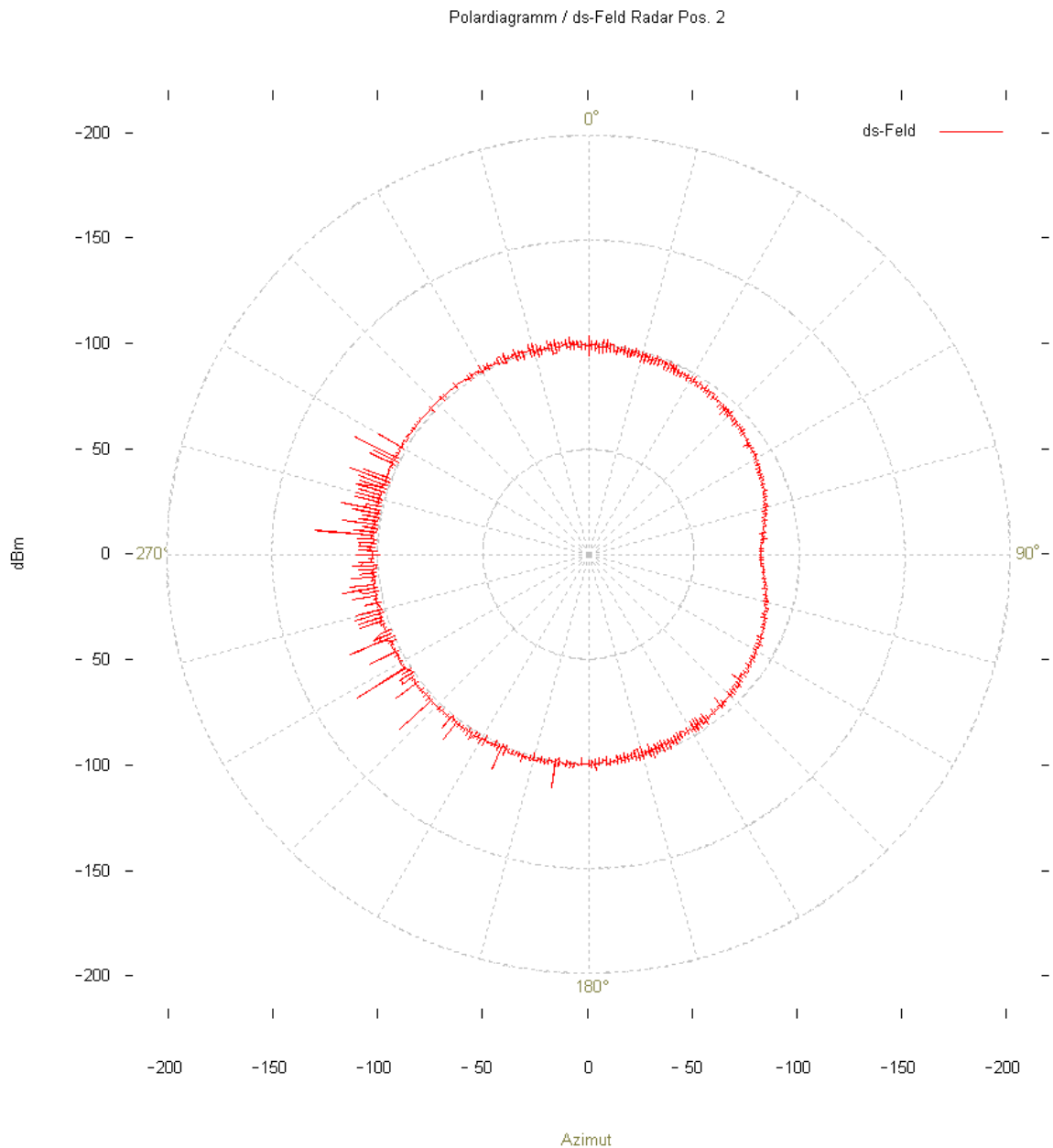


Abbildung 38: Kreisanalysen des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für die Radarposition 2 bei einer Frequenz von 9,2 GHz bei unterdrückten Bodenreflexionen.

Die Abbildung 39 gibt die Verteilung des reflektierten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für den Radarstandort 2 wieder.

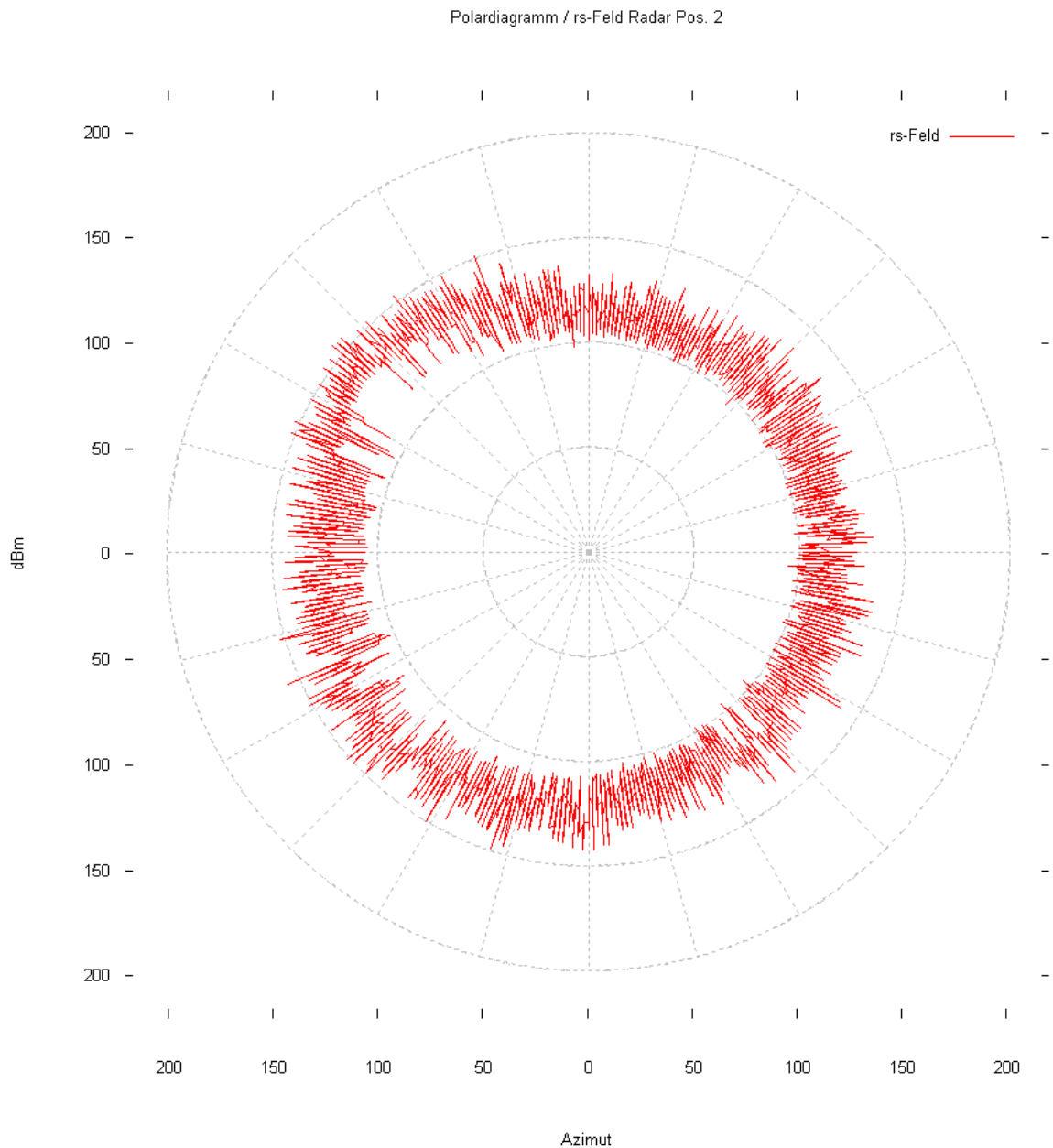


Abbildung 39: Kreisanalysen des reflektierten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für die Radarposition 2 bei einer Frequenz von 9,2 GHz.



Die Abbildung 40 gibt die Differenz aus dem direkten Feld und dem reflektierten-gestreuten Feld um das Windparkgebiet für den Radarstandort 2 bei unterdrückten Bodenreflexionen wieder.

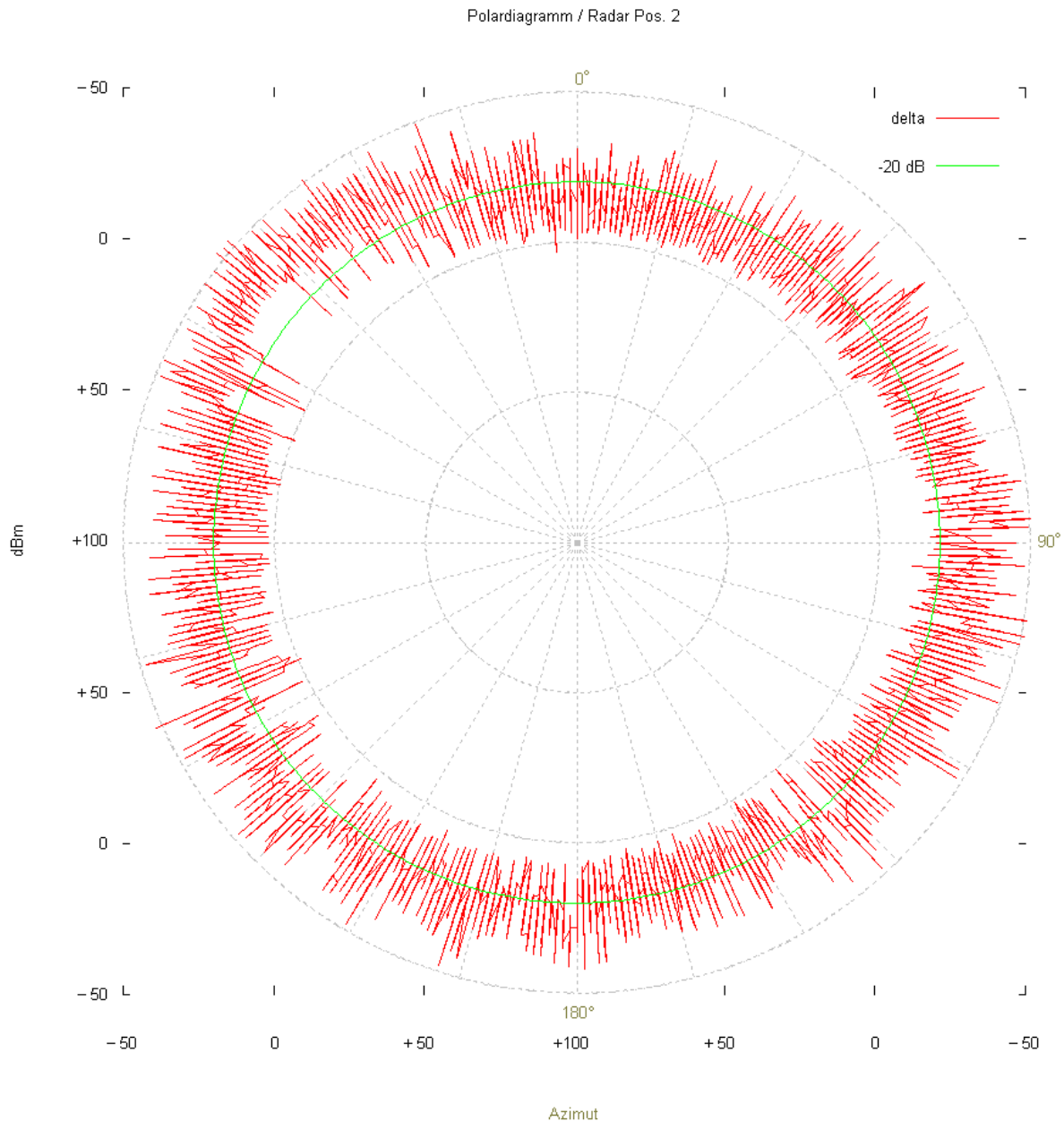


Abbildung 40: Kreisanalysen der Differenz aus dem direkten Feld und dem reflektierten-gestreuten Feld um das Windparkgebiet für die Radarposition 2 bei einer Frequenz von 9,2 GHz.

Die Kreisanalysen für das direkte-gestreute Feld unter Berücksichtigung der Bodenreflexionen gemäß Abbildung 37 zeigen zwischen der Radarposition und dem Windpark im gesamten Winkelbereich deutliche Feldstärkeänderungen. Diese Feldverläufe begründen sich durch den Verlauf des Analysekreises und den Umstand des durch Oberflächenreflexionen hervorgerufenen Lobingeffektes, welcher durch die konzentrischen Kreise um die Antennenposition gekennzeichnet ist. Der Verschattungseinfluss auf das direkte Feld durch den Windpark im Winkelbereich zwischen  $225^\circ$  und  $300^\circ$  wird durch die Bodeneinflüsse überlagert.

Die Analyseergebnisse für das direkte-gestreute Feld bei unterdrückten Oberflächenreflexionen gemäß Abbildung 38 zeigen die Verschattungseinflüsse durch den Windpark in dem Winkelbereich zwischen  $225^\circ$  und  $300^\circ$ . Ohne den Einfluss der Oberflächenreflexionen lassen sich hieraus zusammen mit den Ergebnissen des reflektierten-gestreuten Feldes die Auswirkungen durch den Windpark auf das Ausbreitungsfeld gesondert betrachten – gemäß Abbildung 40.

Die Kreisanalysen für das reflektierte-gestreute Feld gemäß Abbildung 39 zeigen Reflexions- und Streufelderscheinungen, die sich im gesamten Azimutwinkelbereich um den Windpark auswirken. Der Einfluss der Bodenreflexionen hat für das reflektierte-gestreute Feld, welches von den Windenergieanlagen generiert wird nur geringe Auswirkungen auf die Feldverteilung.

Die Kreisanalysen gemäß Abbildung 40 geben die Differenz aus dem direkten Feld und dem reflektierten-gestreuten Feld wieder. Durch diese Analysen lässt sich beurteilen, in welchen Raumrichtungen im Azimut eine durch Reflexionen bzw. Streufelder hervorgerufene Beeinflussung durch den Windpark generiert werden kann. Ein Feldstärkeunterschied zwischen dem direkten und dem reflektierten-gestreuten Feld größer als ca.  $-20^\circ$  dB kann zu einer Beeinträchtigung des Ausbreitungsfeldes führen. Gemäß Abbildung 40 sind keine signifikanten Beeinflussungen durch Verschattungseffekte festzustellen. Es sind nur sehr geringe Einflüsse durch Reflexionen bzw. Streufelder im Azimutwinkelbereich zwischen  $345^\circ$  und  $30^\circ$  sowie  $150^\circ$  und  $180^\circ$  um den Windpark aufgrund der geringfügigen Unterschreitung der Feldstärkedifferenz von ca.  $-20$  dB gegenüber dem direkten Feld festzustellen.

Die Abbildung 41 gibt die Verteilung des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für den Radarstandort 3 unter Berücksichtigung der Bodenreflexionen wieder.

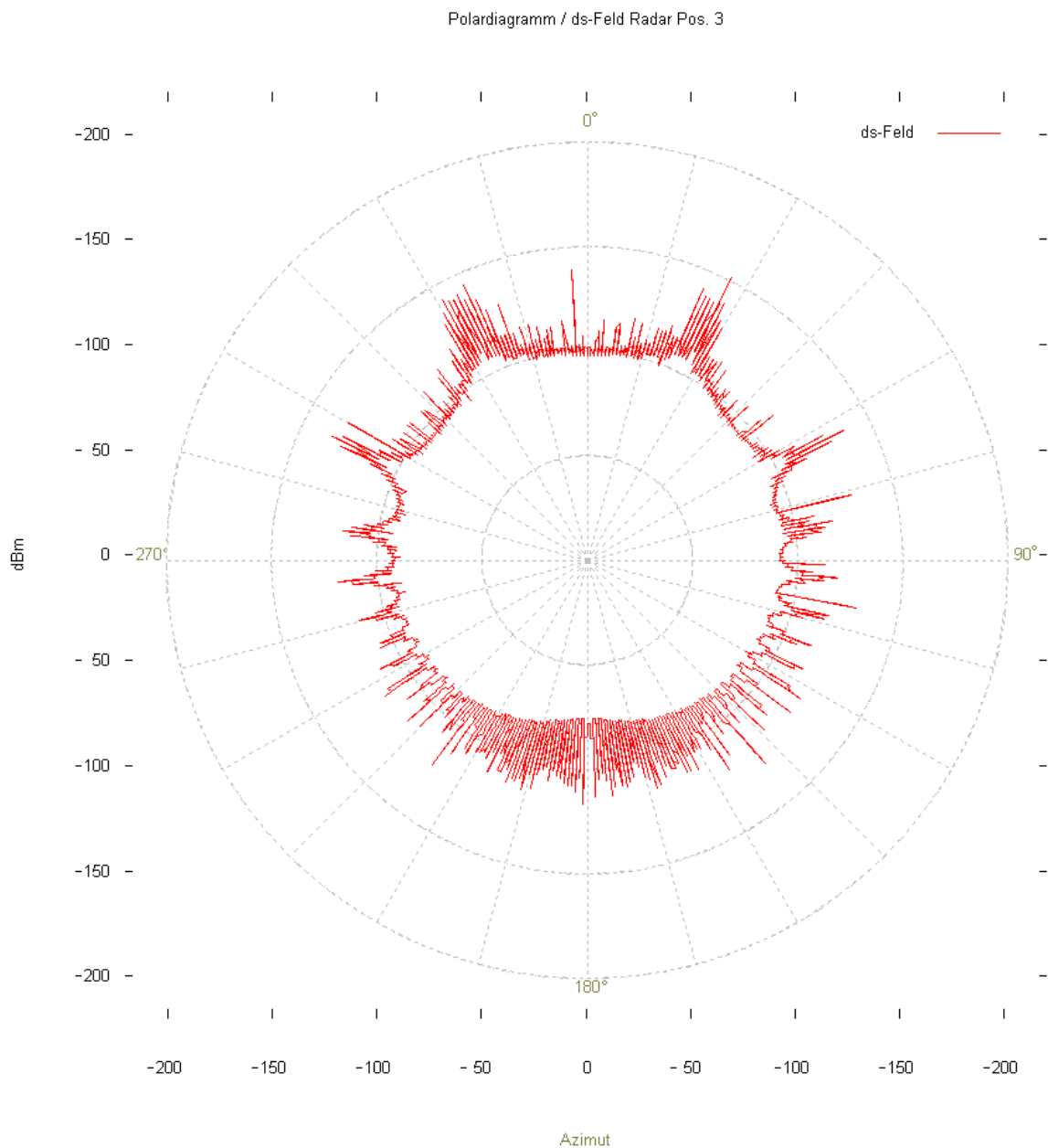


Abbildung 41: Kreisanalysen des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für die Radarposition 3 bei einer Frequenz von 9,2 GHz mit Bodenreflexionen.

Die Abbildung 42 gibt die Verteilung des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für den Radarstandort 3 bei unterdrückten Bodenreflexionen wieder.

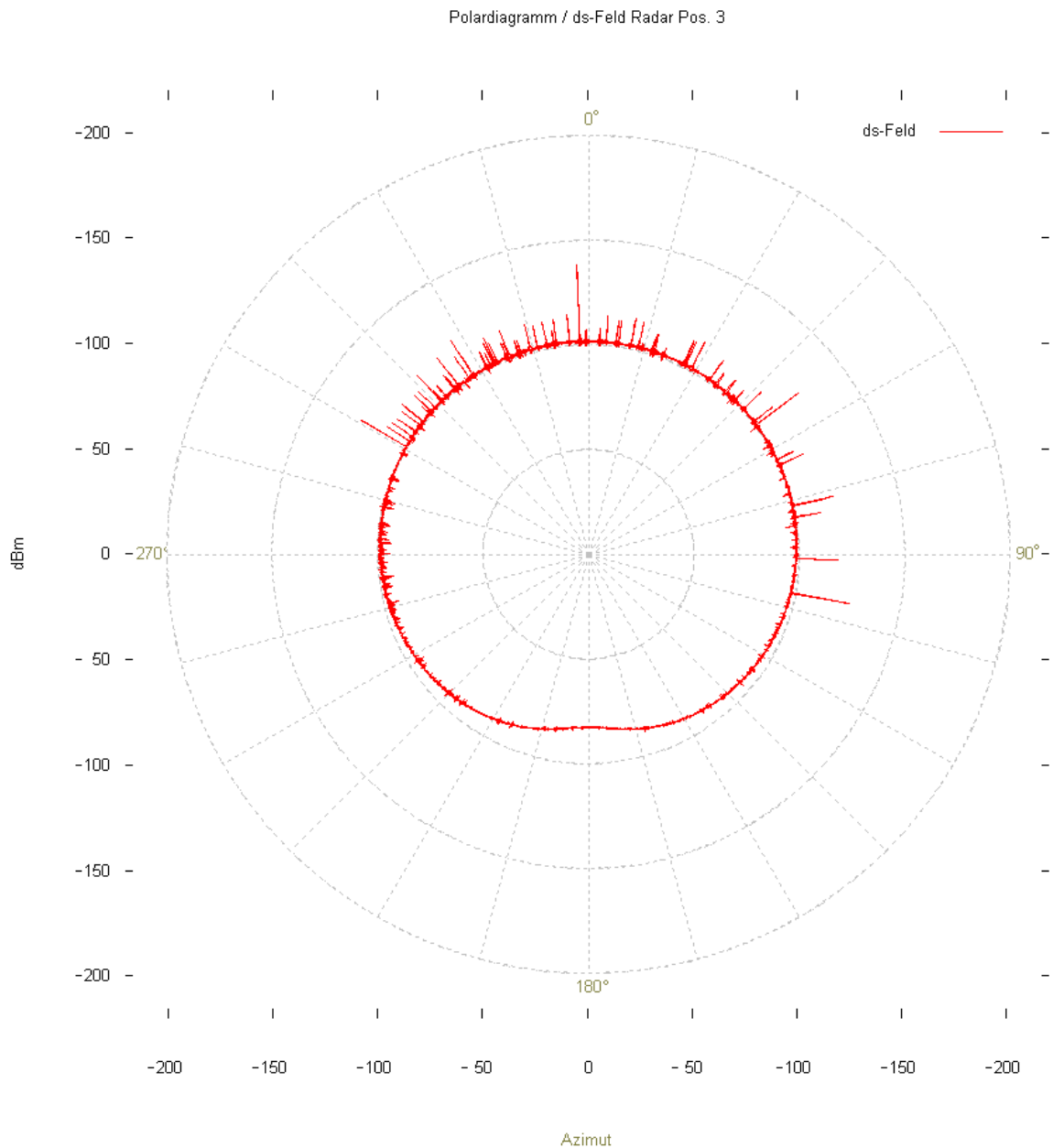


Abbildung 42: Kreisanalysen des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für die Radarposition 3 bei einer Frequenz von 9,2 GHz bei unterdrückten Bodenreflexionen.

Die Abbildung 43 gibt die Verteilung des reflektierten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für den Radarstandort 3 wieder.

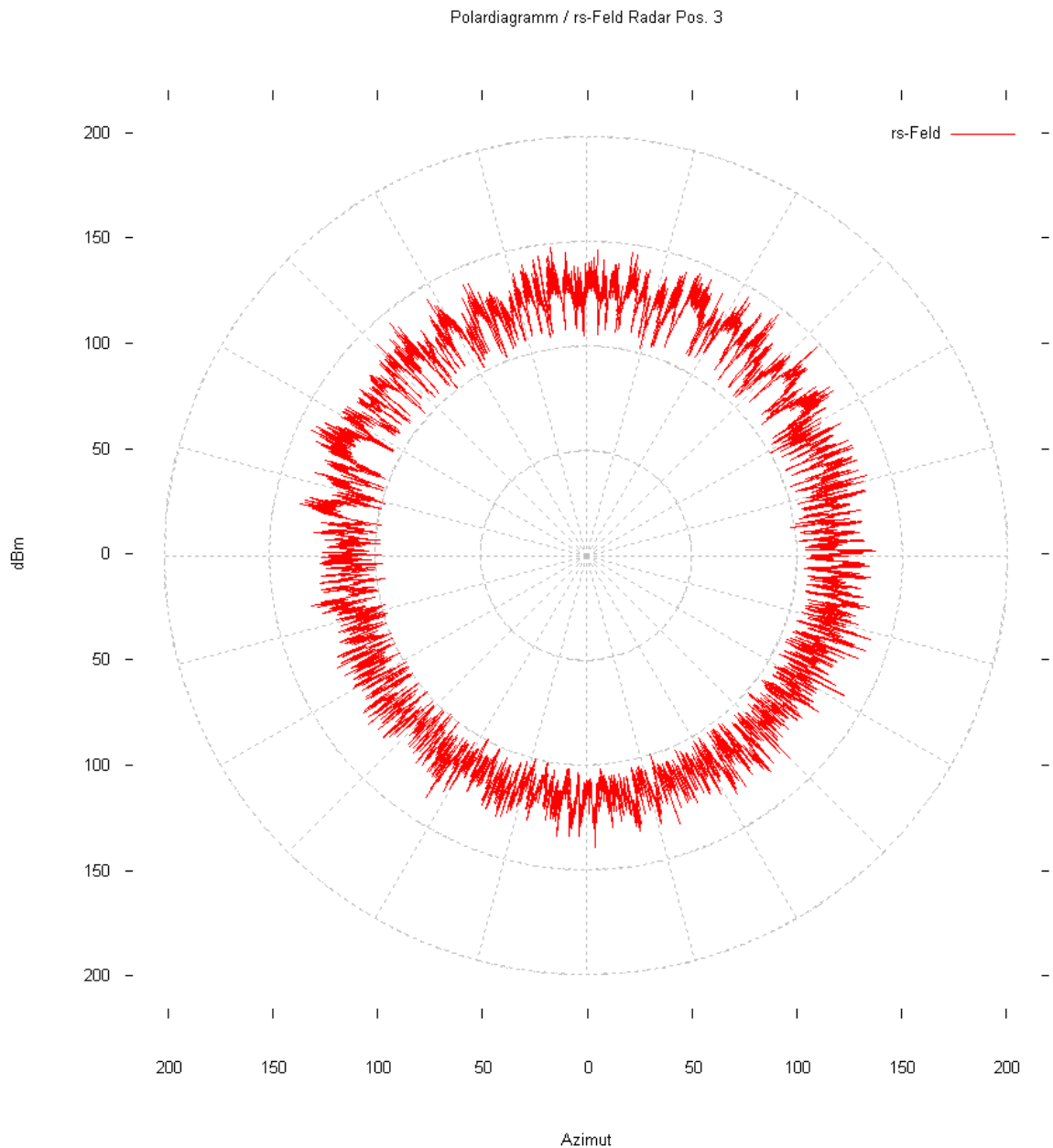


Abbildung 43: Kreisanalysen des reflektierten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für die Radarposition 3 bei einer Frequenz von 9,2 GHz.

Die Abbildung 44 gibt die Differenz aus dem direkten Feld und dem reflektierten-gestreuten Feld um das Windparkgebiet für den Radarstandort 3 bei unterdrückten Bodenreflexionen wieder.

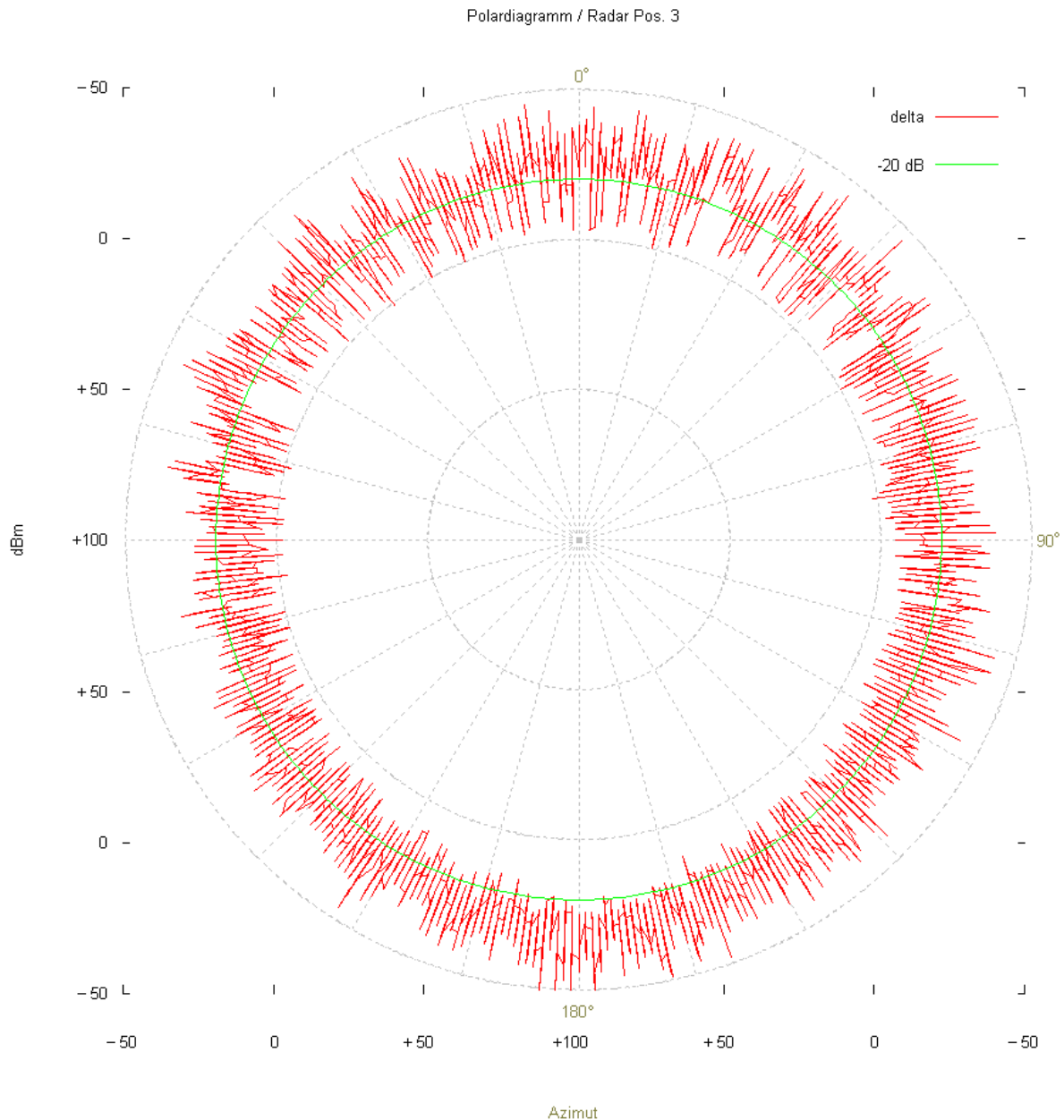


Abbildung 44: Kreisanalysen der Differenz aus dem direkten Feld und dem reflektierten-gestreuten Feld um das Windparkgebiet für die Radarposition 3 bei einer Frequenz von 9,2 GHz.



Die Kreisanalysen für das direkte-gestreute Feld unter Berücksichtigung der Bodenreflexionen gemäß Abbildung 41 zeigen zwischen der Radarposition und dem Windpark im gesamten Winkelbereich deutliche Feldstärkeänderungen. Diese Feldverläufe begründen sich durch den Verlauf des Analysekreises und den Umstand des durch Oberflächenreflexionen hervorgerufenen Lobingeffektes, welcher durch die konzentrischen Kreise um die Antennenposition gekennzeichnet ist. Der Verschattungseinfluss auf das direkte Feld durch den Windpark im Winkelbereich zwischen  $300^\circ$  und  $100^\circ$  wird durch die Bodeneinflüsse überlagert.

Die Analyseergebnisse für das direkte-gestreute Feld bei unterdrückten Oberflächenreflexionen gemäß Abbildung 42 zeigen die Verschattungseinflüsse durch den Windpark in dem Winkelbereich zwischen  $300^\circ$  und  $100^\circ$ . Ohne den Einfluss der Oberflächenreflexionen lassen sich hieraus zusammen mit den Ergebnissen des reflektierten-gestreuten Feldes die Auswirkungen durch den Windpark auf das Ausbreitungsfeld gesondert betrachten – gemäß Abbildung 44.

Die Kreisanalysen für das reflektierte-gestreute Feld gemäß Abbildung 43 zeigen Reflexions- und Streufelderscheinungen, die sich im gesamten Azimutwinkelbereich um den Windpark auswirken. Der Einfluss der Bodenreflexionen hat für das reflektierte-gestreute Feld, welches von den Windenergieanlagen generiert wird nur geringe Auswirkungen auf die Feldverteilung.

Die Kreisanalysen gemäß Abbildung 44 geben die Differenz aus dem direkten Feld und dem reflektierten-gestreuten Feld wieder. Durch diese Analysen lässt sich beurteilen, in welchen Raumrichtungen im Azimut eine durch Reflexionen bzw. Streufelder hervorgerufene Beeinflussung durch den Windpark generiert werden kann. Ein Feldstärkeunterschied zwischen dem direkten und dem reflektierten-gestreuten Feld größer als ca.  $-20^\circ$  dB kann zu einer Beeinträchtigung des Ausbreitungsfeldes führen. Gemäß Abbildung 36 sind keine signifikanten Beeinflussungen durch Verschattungseffekte festzustellen. Es sind nur sehr geringe Einflüsse durch Reflexionen bzw. Streufelder im Azimutwinkelbereich zwischen  $75^\circ$  und  $90^\circ$  sowie  $240^\circ$  und  $290^\circ$  um den Windpark aufgrund der geringfügigen Unterschreitung der Feldstärkedifferenz von ca.  $-20$  dB gegenüber dem direkten Feld festzustellen.

Die Abbildung 45 gibt die Verteilung des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für den Radarstandort 4 unter Berücksichtigung der Bodenreflexionen wieder.

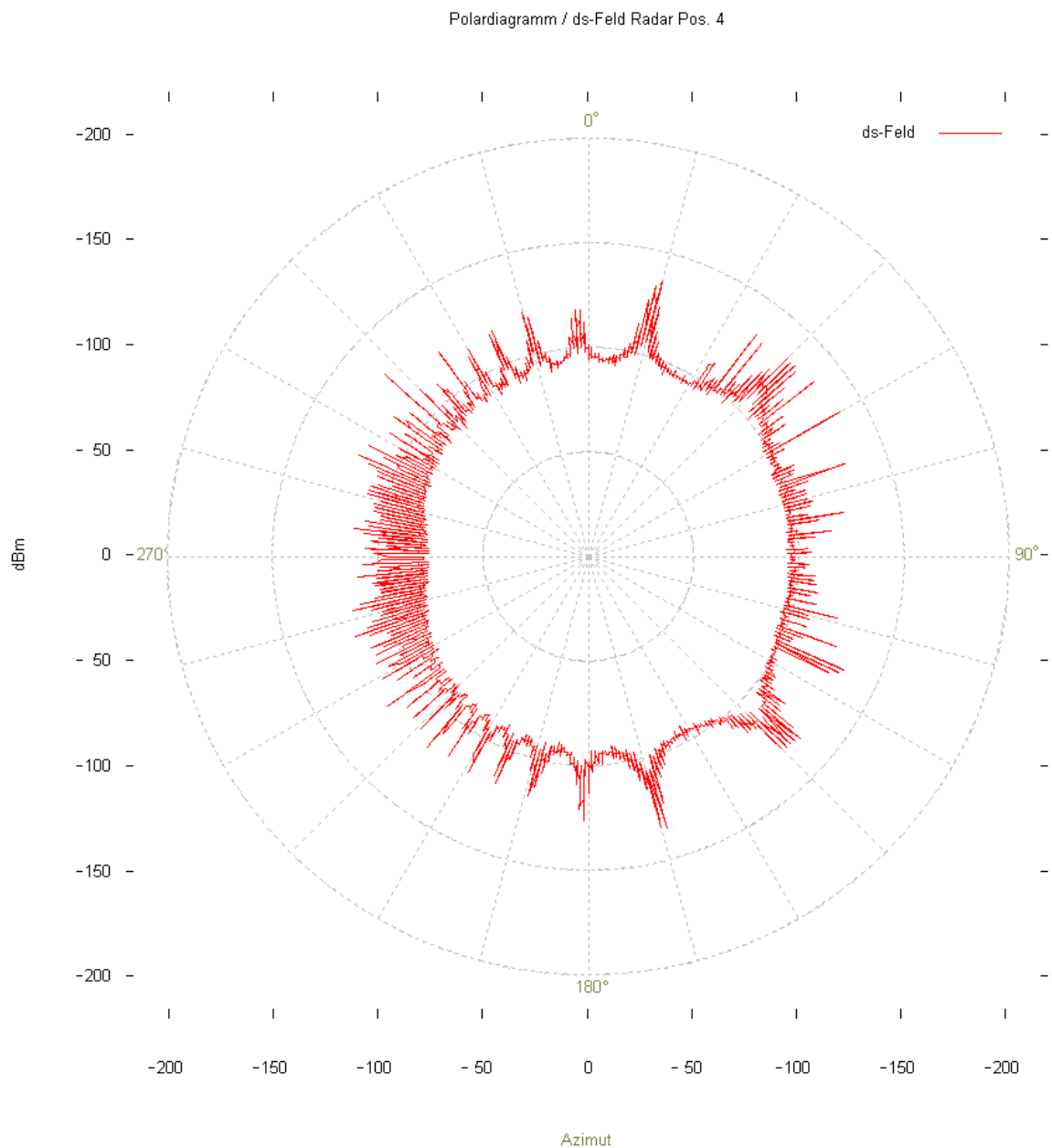


Abbildung 45: Kreisanalysen des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für die Radarposition 4 bei einer Frequenz von 9,2 GHz mit Bodenreflexionen.

Die Abbildung 46 gibt die Verteilung des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für den Radarstandort 4 bei unterdrückten Bodenreflexionen wieder.

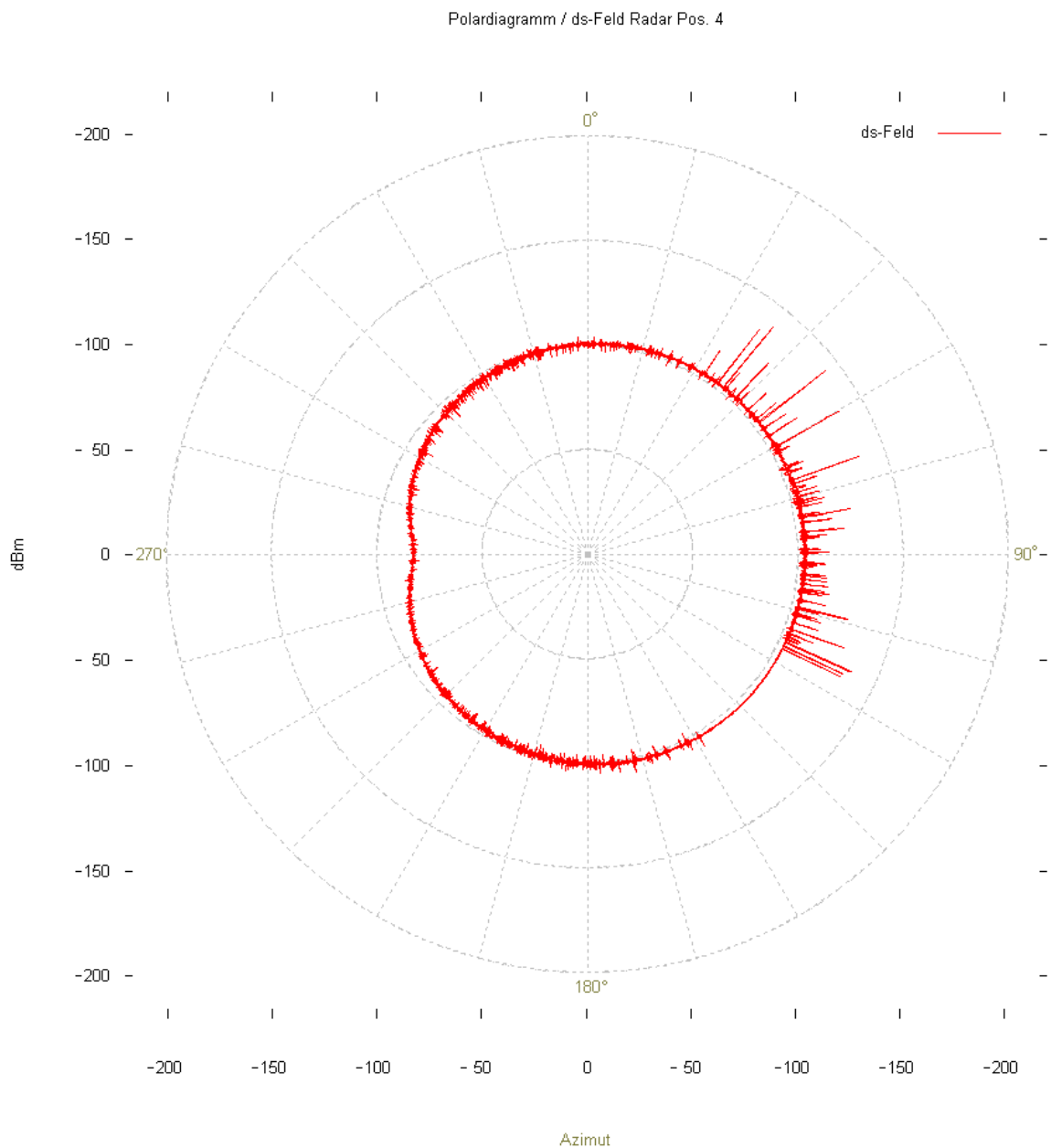


Abbildung 46: Kreisanalysen des direkten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für die Radarposition 4 bei einer Frequenz von 9,2 GHz bei unterdrückten Bodenreflexionen.

Die Abbildung 47 gibt die Verteilung des reflektierten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für den Radarstandort 4 wieder.

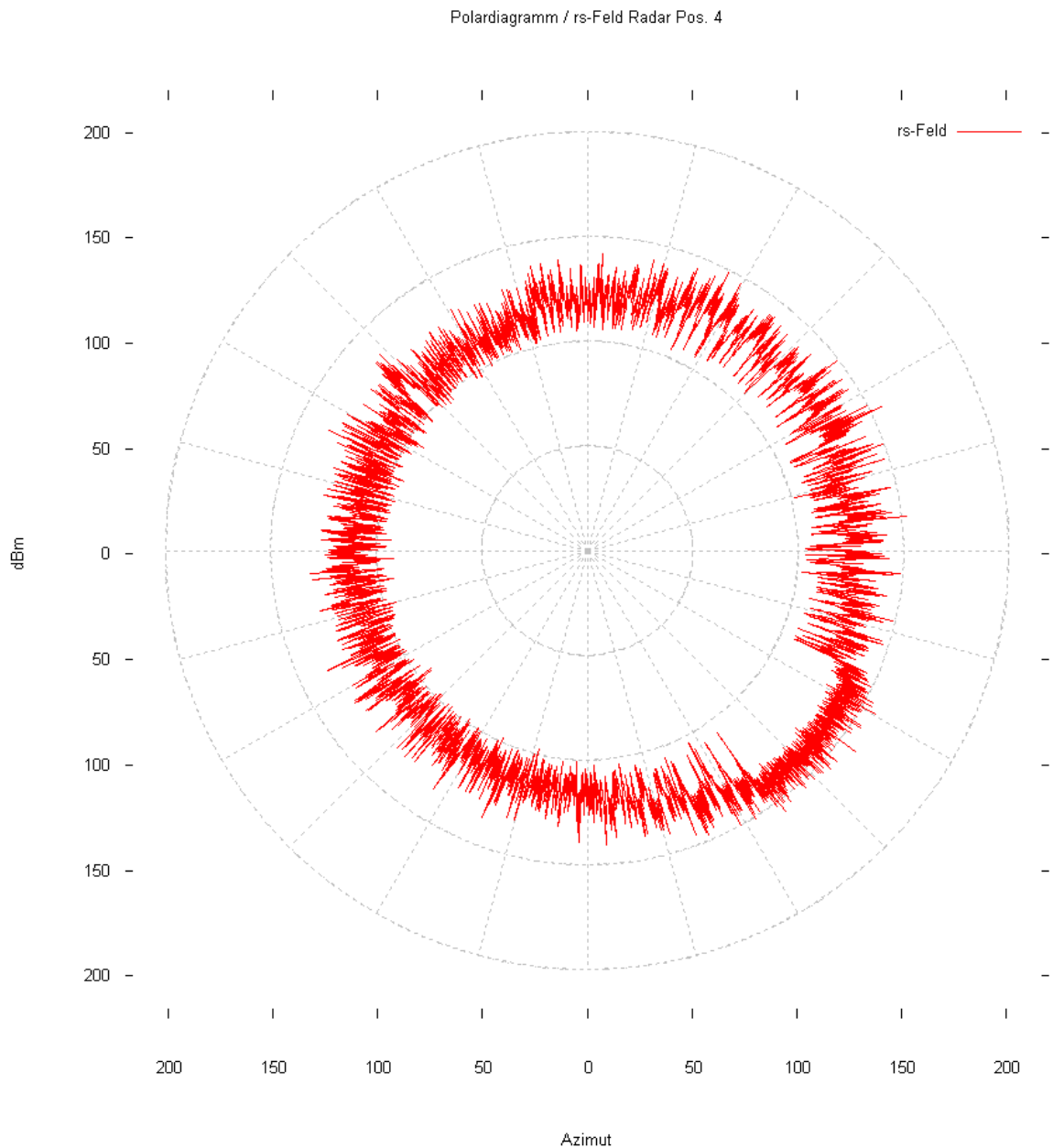


Abbildung 47: Kreisanalysen des reflektierten-gestreuten Feldes um das Windparkgebiet für die Radarposition 4 bei einer Frequenz von 9,2 GHz.

Die Abbildung 48 gibt die Differenz aus dem direkten Feld und dem reflektierten-gestreuten Feld um das Windparkgebiet für den Radarstandort 4 bei unterdrückten Bodenreflexionen wieder.

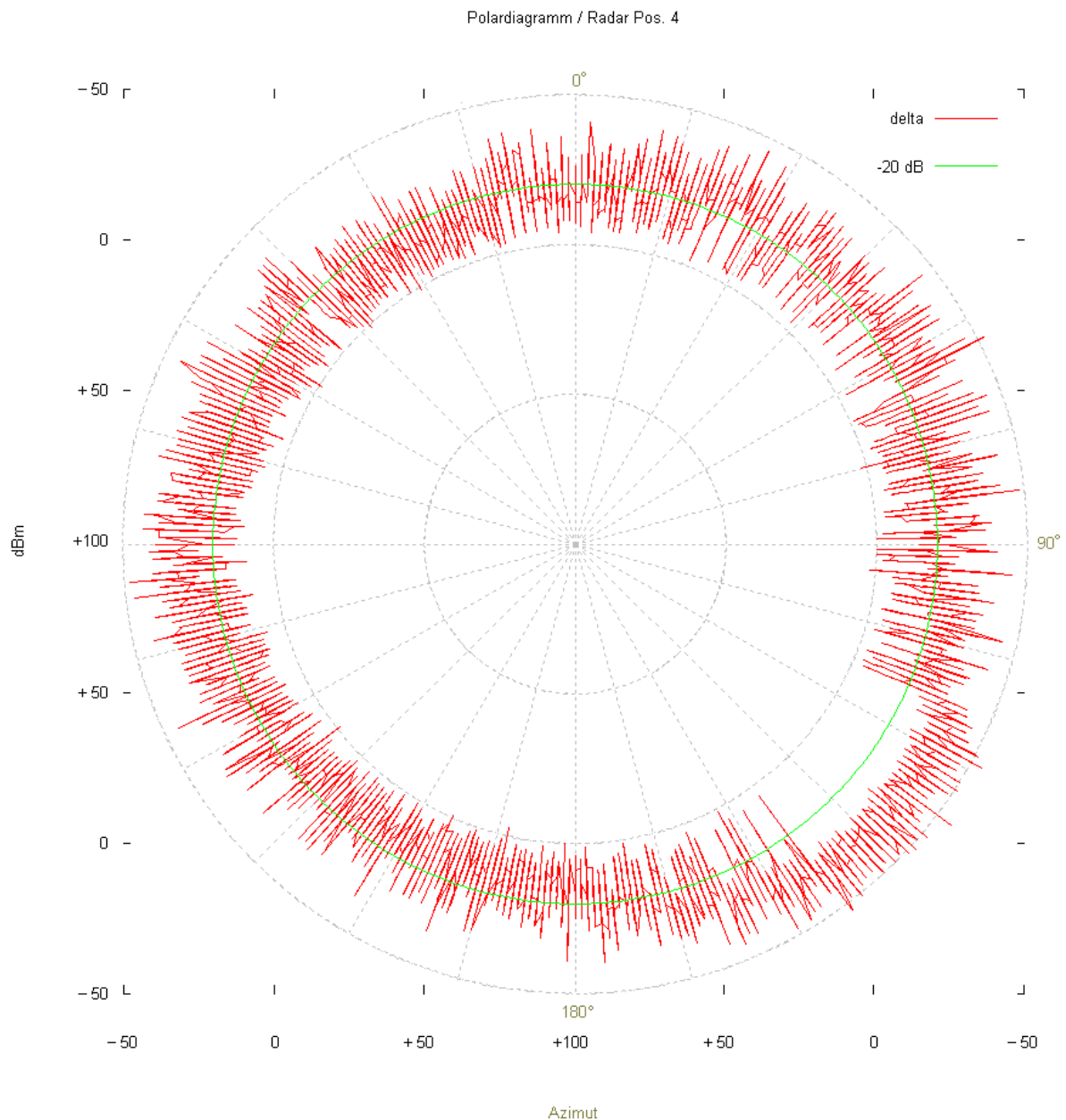


Abbildung 48: Kreisanalysen der Differenz aus dem direkten Feld und dem reflektierten-gestreuten Feld um das Windparkgebiet für die Radarposition 4 bei einer Frequenz von 9,2 GHz.

Die Kreisanalysen für das direkte-gestreute Feld unter Berücksichtigung der Bodenreflexionen gemäß Abbildung 45 zeigen zwischen der Radarposition und dem Windpark im gesamten Winkelbereich deutliche Feldstärkeänderungen. Diese Feldverläufe begründen sich durch den Verlauf des Analysekreises und den Umstand des durch Oberflächenreflexionen hervorgerufenen Lobingeffektes, welcher durch die konzentrischen Kreise um die Antennenposition gekennzeichnet ist. Der Verschattungseinfluss auf das direkte Feld durch den Windpark im Winkelbereich zwischen  $40^\circ$  und  $110^\circ$  wird durch die Bodeneinflüsse überlagert.

Die Analyseergebnisse für das direkte-gestreute Feld bei unterdrückten Oberflächenreflexionen gemäß Abbildung 46 zeigen die Verschattungseinflüsse durch den Windpark in dem Winkelbereich zwischen  $40^\circ$  und  $110^\circ$ . Ohne den Einfluss der Oberflächenreflexionen lassen sich hieraus zusammen mit den Ergebnissen des reflektierten-gestreuten Feldes die Auswirkungen durch den Windpark auf das Ausbreitungsfeld gesondert betrachten – gemäß Abbildung 48.

Die Kreisanalysen für das reflektierte-gestreute Feld gemäß Abbildung 47 zeigen Reflexions- und Streufelderscheinungen, die sich im gesamten Azimutwinkelbereich um den Windpark auswirken. Der Einfluss der Bodenreflexionen hat für das reflektierte-gestreute Feld, welches von den Windenergieanlagen generiert wird nur geringe Auswirkungen auf die Feldverteilung.

Die Kreisanalysen gemäß Abbildung 48 geben die Differenz aus dem direkten Feld und dem reflektierten-gestreuten Feld wieder. Durch diese Analysen lässt sich beurteilen, in welchen Raumrichtungen im Azimut eine durch Reflexionen bzw. Streufelder hervorgerufene Beeinflussung durch den Windpark generiert werden kann. Ein Feldstärkeunterschied zwischen dem direkten und dem reflektierten-gestreuten Feld größer als ca.  $-20^\circ$  dB kann zu einer Beeinträchtigung des Ausbreitungsfeldes führen. Gemäß Abbildung 48 sind keine signifikanten Beeinflussungen durch Verschattungseffekte festzustellen. Es sind nur sehr geringe Einflüsse durch Reflexionen bzw. Streufelder im Azimutwinkelbereich zwischen  $170^\circ$  und  $220^\circ$  sowie  $315^\circ$  und  $345^\circ$  um den Windpark aufgrund der geringfügigen Unterschreitung der Feldstärkedifferenz von ca.  $-20$  dB gegenüber dem direkten Feld festzustellen.

### 6.3.4 Winkelfehleranalysen

Die Winkelfehleranalysen werden für eine einzelne Windenergieanlage vom Typ Nordex N-150 untersucht. Die Radarposition wird hierbei in einer Entfernung von ca. 10 km zur WEA angenommen. Der Analyseradius beträgt für die Untersuchung ca. 20 km.

Die Ermittlung zu erwartender Winkelfehler basiert auf der Auswertung von Ereignissen im Strahlungsfeld hinter dem streuenden Objekt. Das vom einem weiteren Objekt reflektierte und zu detektierende Signal erfährt durch das Streuobjekt eine Beeinflussung und ggf. eine Richtungsänderung. Durch Auswertung des elektromagnetischen Feldes in mindestens zwei verschiedene Distanzen hinter dem Objekt sind Rückschlüsse auf Winkelfehler möglich. Gemäß Abbildung 49 ist das Verfahren schematisiert gekennzeichnet. Die Kennzeichnung (A) gibt eine analysierte Antennenposition an. Von Bedeutung sind bei der Auswertung der Betrag des zu erwartenden Winkelfehlers sowie deutliche Betragsänderungen über geringe Azimutrichtungsunterschiede.

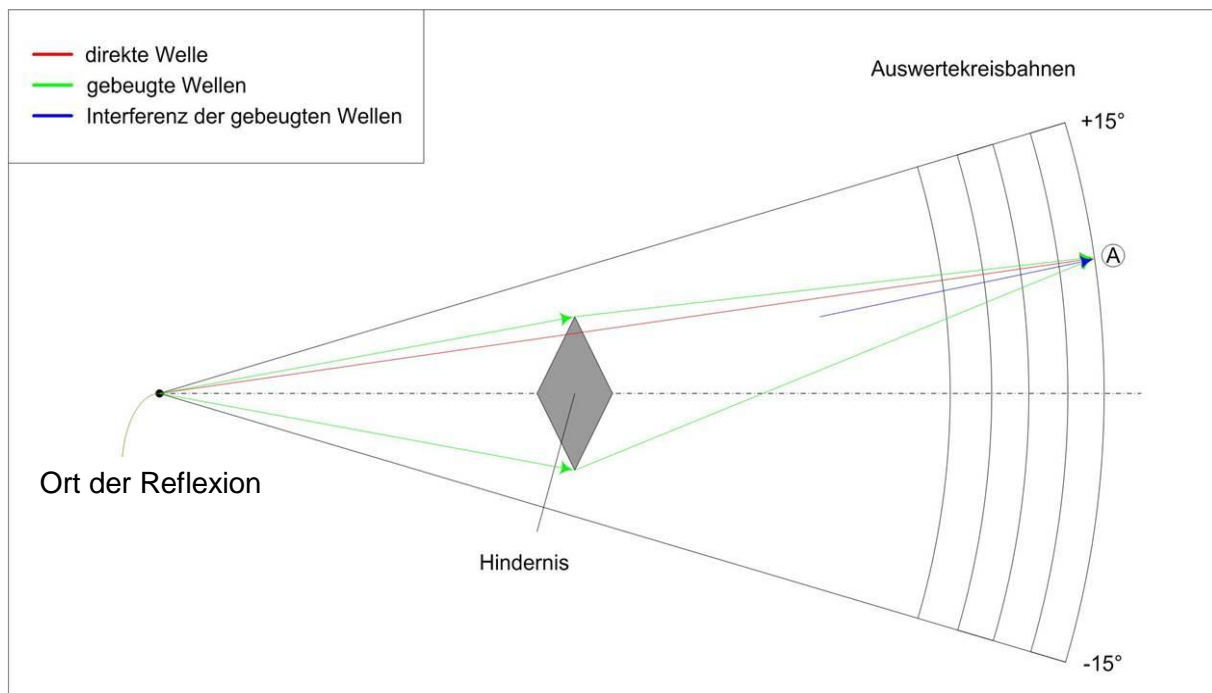


Abbildung 49: Methodik der Winkelfehleranalysen. Das Reflexionsfeld vom LFZ wird durch das Hindernis in seiner Ausbreitungsrichtung beeinflusst.



Die Abbildung 50 gibt den Feldstärkeverlauf entlang des Analysepfades hinter einer einzelnen WEA bei einer Betriebsfrequenz von ca. 9,2 GHz wieder.

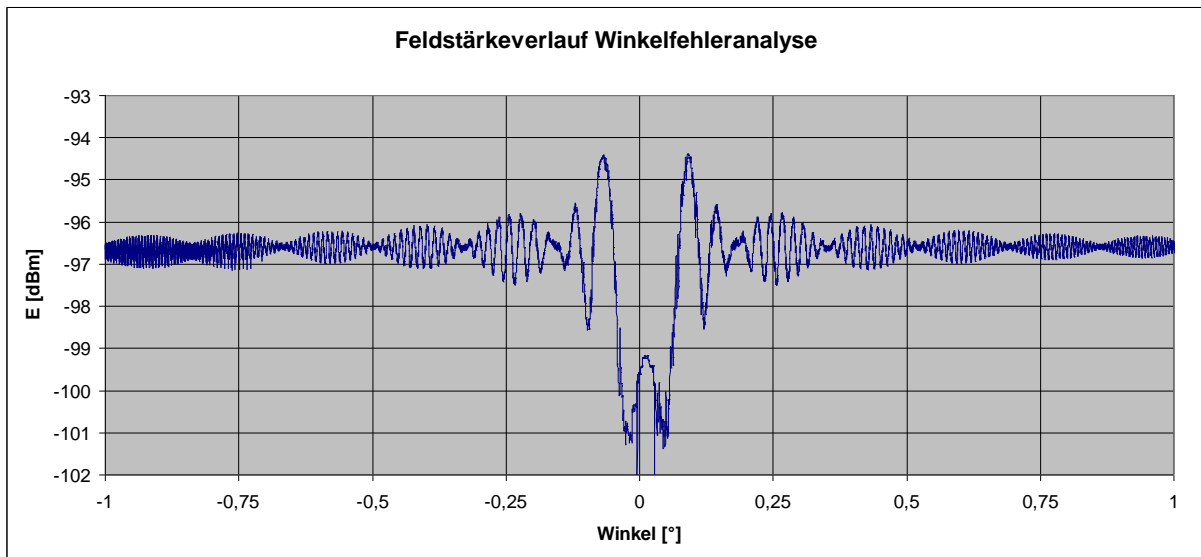


Abbildung 50: Feldstärkeverlauf entlang des Analysepfades hinter einer einzelnen WEA.

Die Abbildung 51 gibt die Winkelfehleranalyse für eine einzelne WEA bei einer Betriebsfrequenz von ca. 9,2 GHz wieder.

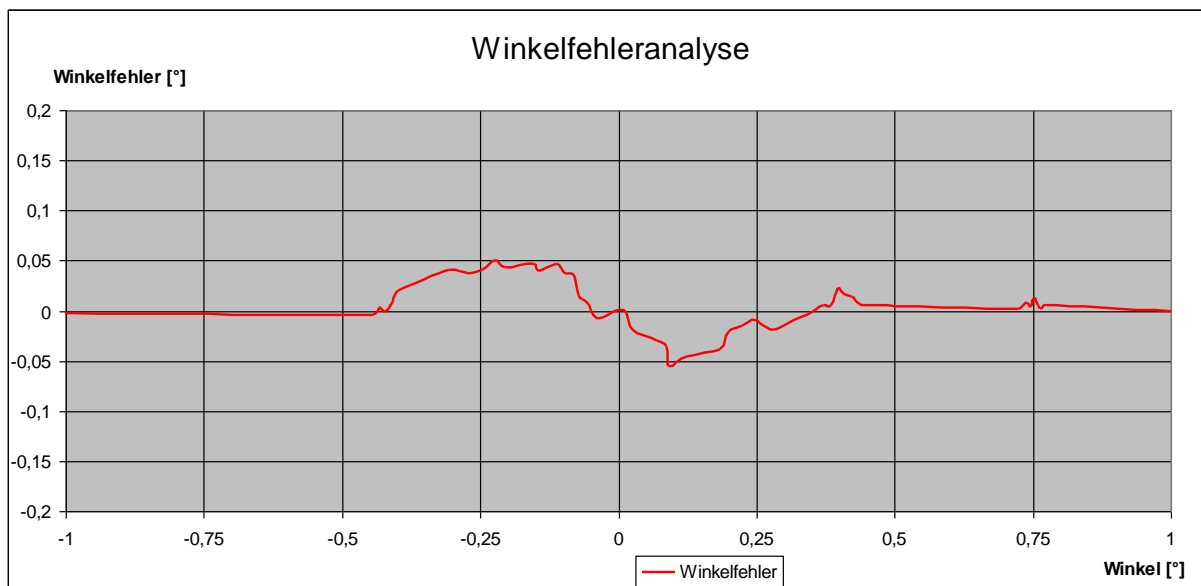


Abbildung 51: Winkelfehler entlang des Analysepfades hinter einer einzelnen WEA.

Gemäß Abbildung 50 ist der Verschattungseinfluss der WEA im Winkelbereich um  $0^\circ$  im Azimut dargestellt. Ab einem Azimutwinkel von ca.  $\pm 0,5^\circ$  sind die, von der WEA generierten Feldstärkeschwankungen mit Werten von  $\pm 0,6$  dB zu gering, um Winkelfehler hervorzurufen. Die Winkelfehleranalyse gemäß Abbildung 51 zeigt einen maximalen Winkelfehler von  $0,05^\circ$ . Dieser Winkelfehler bei einer Distanz von ca. 10 km zwischen Antenne und WEA ist deutlich geringer als die Genauigkeit der Radargeräte im Azimut. Eine störende Beeinflussung der Schiffsradaranlagen bzgl. Winkelfehler im Bereich hinter den Windenergieanlagen ist auszuschließen.

## Anhang A: Abkürzungen

ASR	=	Airport Surveillance Radar (Primärradar)	2-D-Radar
GND	=	Geländehöhe	
LFZ	=	Luftfahrzeug	
LV-Radar	=	Radar zur Luftverteidigung;	3-D-Radar
MoM	=	Momentenmethode ; Analyseverfahren zur Hochfrequenzausbreitung	
MPR	=	Typenbezeichnung eines Radargerätes zur Luftverteidigung	
NH	=	Nabenhöhe	
RCS	=	Radar-Cross-Section	(RQS Radarquerschnitt)
Reichweitenminderung	=	Maß für die Beschränkung/Minderung der radarwirksamen Einsehbarkeit in definierte Luftraumsektionen. Die ideale Betriebsbedingung liegt vor für einen Wert von 100 %.	
SASS-C	=	Software von EUROCONTROL zur Radardatenaufzeichnung und Analyse bzgl. Positionsgenauigkeit in Range und Azimut sowie bzgl. der Probability of Detection für PSR und SSR	
SSR/IFF	=	Secondary Surveillance Radar	(Sekundärradar)
UTD	=	Uniform Theorie of Diffraction: Analyseverfahren zur Hochfrequenzausbreitung	
WEA	=	Windenergieanlage	