

Signaturtechnisches Gutachten
zur Planung von Windenergieanlagen im
Bereich Groß Voigtshagen
im Einflussbereich der
militärischen Radaranlage Elmenhorst

Gutachten Nr.: TEATE-379/19

Technischer Stand: 19.12.2019

Auftraggeber:

WINDPARK GmbH & Co.
Groß Voigtshagen KG
Dreekamp 5

D-26605 Aurich

Auftragnehmer:

Airbus Defence and Space GmbH
Airbus-Allee 1

D-28199 Bremen

Durchgeführt von:

Dr.-Ing. A. Frye; TEATE-TL1

unter Beteiligung von:

Dipl.-Math. O. Stelzner; TEATE-TL1

Tel.: +49 421 – 538 2719

Fax.: +49 421 – 538 3481

E-Mail: andreas.frye@airbus.com



Ausfertigungsnummer - pdf -

Das Gutachten besteht aus den Seiten 1 bis 48 mit Anhang A bis D.

Inhaltsverzeichnis:

1	Zielsetzung	4
1.1	Bewertung bzgl. des Radars Elmenhorst (3D-LV-Radar)	4
1.2	Zielsetzung	7
2	Gesamtbeurteilung/Zusammenfassung der Ergebnisse	8
2.1	Radar Elmenhorst.....	8
3	Untersuchung bzgl. Radar Elmenhorst.....	11
3.1	Aufgabenbeschreibung.....	11
3.2	Referenzuntersuchung	13
3.3	Untersuchungsverfahren	16
3.4	Technische Analyse für das 3D-LV-Radar Elmenhorst.....	19
3.5	Randbedingungen für Analysen zu einem 3D-LV-Radar	20
3.6	Analyse für 0,2° Elevation.....	22
3.6.1	Randbedingungen für diese Aufgabenstellung	22
3.6.2	Künftige Situation mit den geplanten WEA	29
3.6.3	Bewertung des Einflusses von Einzelanlagen und Gruppierungen	32
3.6.4	Bewertung der Darstellung der normierten Feldstärkenverteilungen ..	41

3.6.5	Beurteilung	41
Anhang A:	Abkürzungen	45
Anhang B:	Technische Parameter der geplanten WEA	46
Anhang C:	Koordinaten	47
Anhang D:	Variationsrechnungen	48

1 Zielsetzung

Status des Berichtes:

Der vorliegende Abschlussbericht fasst die bis zum Zeitpunkt des Berichtsdatums erarbeiteten Ergebnisse und Erkenntnisse zusammen. Die vorliegende Untersuchung bewertet den möglichen technischen Einfluss von zwölf geplanten Windenergieanlagen im Bereich Groß Voigtshagen auf die Radarabdeckung des 3D-LV-Radars am Standort Elmenhorst.

Geplant ist der Anlagentyp Enercon E-147 EP5 E2 mit ca. 155 m Nabenhöhe.

Die Distanz der Planung zum Radar Elmenhorst kann mit ca. 10,5 km angegeben werden. Es sind zusätzliche vorhandene WEA im gleichen Richtungsbezug zu berücksichtigen. Die Daten und Informationen der Windenergieanlagen bzgl. der Gondel- und Säulendimensionen sowie bzgl. der Rotorblätter wurden dem Verfasser des Gutachtens auf der Grundlage einer Vertraulichkeitserklärung vom Hersteller der Windenergieanlagen zur Verfügung gestellt.

Eine betriebliche Bewertung, die eine nichttechnische Folgenabschätzung für die Nutzer der Radarsysteme bedeutet, erfolgt im vorliegenden technischen Gutachten nicht.

1.1 Bewertung bzgl. des Radars Elmenhorst (3D-LV-Radar)

Berücksichtigt wurden hierbei insbesondere die Topografie und die exakten Höhenpositionen des Radarsystems sowie der geplanten und vorhandenen Windenergieanlagen.

In der vorliegenden Untersuchung zum LV-Radar werden die technischen Betriebsparameter der Radarortungsanlage Elmenhorst, die einer Sicherheitseinstufung unterliegen, zugrunde gelegt. Eine ausführliche Beschreibung der technischen Betriebsparameter und Aufgabenstellungen der Systeme erfolgt aus diesem Grund in den schriftlichen Unterlagen nicht. Der exakte Gerätetyp ist dem Gutachter bekannt, dieser wird, einem früheren Wunsch des Luftfahrtamtes der Bundeswehr folgend, im Gutachten jedoch nicht explizit genannt.

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 vorhandenen sowie geplanten 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 3D-Radarsysteme
- Konkrete Parameter des LV-Radarsystems: Antennenposition, Antennenhöhe, Azimutauflösung, Betriebsfrequenzbereich
- Anforderungen der DFS zur Vermeidung radarwirksamer Verschattungen bei Primärradaren

Berücksichtigt sind weiter die Referenzuntersuchungen gemäß Kapitel 3.2.

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 auf der Grundlage von bisher vorgelegten Random-Traffic-Aufzeichnungen sowie auf der Grundlage 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.

Dem Gutachten wurden die technischen Parameter des Radarsystems in Elmenhorst zugrunde gelegt. Für die im Gutachten betrachtete Frequenz von 1,3 GHz sowie die Antennenparameter wurden die Werte des Radartyps RRP 117 genutzt. Die Höhe

der in den elektromagnetischen Analysen angenommenen Antennenunterkante beträgt 86,88 m ü. NHN.

Es sei darauf hingewiesen, dass eine Minderung der messtechnisch mit Hilfe von 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) 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.

Dieses Verfahren basiert auf den messtechnischen Untersuchungen der Referenzuntersuchungen gemäß Kapitel 3.2 und stellt den validierten Zusammenhang zwischen der ermittelten Änderung des elektromagnetischen Ausbreitungsfeldes und der Zielgröße des Radarortungssystems dar.

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 bewirken darüber hinaus unter Umständen eine unzuverlässige bzw. ungenaue LFZ-Positionsbestimmung.

1.2 Zielsetzung

Es werden im Ergebnis Vorschläge formuliert und begründet, an welchen Orten die geplanten Windenergieanlagen unter den genannten radartechnischen Kriterien als zulässig erachtet werden.

In diesem Zusammenhang sind verschiedene Variationsmöglichkeiten zum Projekt untersucht worden, vgl. Anhang D.

Das Gutachten dient zur Vorlage und Entscheidungsgrundlage im Rahmen des Genehmigungsverfahrens bei dem zuständigen BAIUDBw – Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr – sowie der Luftwaffe als Betreiber der Radaranlage in Elmenhorst. Eine operationelle Bewertung der Radaranlage erfolgt nicht.

2 Gesamtbeurteilung/Zusammenfassung der Ergebnisse

2.1 Radar Elmenhorst

Die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte abschließende Planungsvariante erfüllt die geforderten Kriterien bzgl. Verschattung und Reichweitenreduktion, vgl. Abbildung 1 und Tabelle 6.



Abbildung 1: Grafische Übersicht auf die geplanten Anlagen (grün) und den Bestand (rot)

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 GmbH voraus. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster – Eintragung vorbehalten. Quellenangabe: Alle genutzten Darstellungen sind durch Airbus Defence and Space GmbH, bzw. den Bearbeiter erzeugt worden. Bei Luftaufnahmen wird teilweise auf Google Earth Abbildungen zurückgegriffen.

Die untersuchte WEA-Anordnung (siehe Tabelle 9) stellt gemäß der vorliegenden Untersuchungsergebnisse eine für die Radaranlage Elmenhorst der bisherigen Betriebssituation gleichwertige Situation dar.

Bei der Realisierung des Planungsstandorts sind Ortsabweichungen gegenüber den Koordinaten gemäß Tabelle 9 in der Größenordnung des Säulendurchmessers im unteren Höhenbereich von ca. 5,5 m ohne Einfluss auf die Ergebnisse in allen Richtungen zulässig. Ebenfalls zulässig ist die Planung mit geringeren Nabhöhen ohne nachteiligen Einfluss auf die Ergebnisse.

Für die Radaranlage Elmenhorst, die als 3D-Radaranlage zur Luftverteidigung dient, ergibt sich für keine der untersuchten WEA-Anordnungen eine messbare Minderung der Radarerfassung. Die Streufeldeinflüsse, bedingt durch die zukünftige Windparksituation mit den geplanten WEAs, weisen keine messbare Intensitätszunahme auf, infolge derer feststellbare Auswirkungen wie Zielerfassungsverluste oder Fehler bei Laufzeit- bzw. Distanzmessungen auf das Radarsystem zu erwarten sind. Eine messbare Störung des Radars Elmenhorst in der Planungssituation kann ausgeschlossen werden.

Die Ergebnisse basieren auf der Auswertung des vollständigen Empfangsfeldes in der vollständigen Azimutbreite der Empfangsantenne. Die Auswertung erfolgte unter der Annahme einer Elevation eines Luftfahrzeugs von $0,2^\circ$ gegenüber der Radarposition. Grundlage sind hierzu die Radarhorizontdiagramme in diesen Azimutrichtungen gemäß dem aktuellen vorliegenden Feldvermessungsbericht zum Standort Elmenhorst vom Juni 2010 zum Radarhorizont.

In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass Untersuchungen bei 3D-Radarsystemen nur unter Berücksichtigung der Topografie sowie der Höhenposition der Radarantenne und der WEA eine Aussage zu Reichweitenänderungen ermöglichen und die hier vorgestellten Ergebnisse nur für die betrachteten Standorte gemäß Tabelle 9 gültig sind.

Auf der Grundlage der vorgenannten Feststellungen und unter Beachtung der Empfehlung werden die geplanten WEA-Typen radartechnisch an den geplanten Standorten sowie in der vorgesehenen angegebenen Bauhöhe (vgl. Tabelle 9 sowie Anhang auf Seite 47) als radartechnisch vertretbar und somit als zulässig erachtet.

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 oder bei abweichenden Geländeprofilen verlieren die ermittelten Ergebnisse ihre Gültigkeit.

Alle Untersuchungen, wie theoretische Analysen, Berechnungen und messtechnische Untersuchungen, wurden durch den Unterzeichner persönlich überwacht bzw. durchgeführt. Der Schwerpunkt der Unterstützung durch Dipl. Math. O. Stelzner liegt in der Durchführung der Simulationsverfahren nach festgelegten Prozessen.

Alle genutzten Hilfsmittel sind Eigentum der Airbus Defence and Space GmbH, Betriebsstätte Bremen. Sie entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft, der Lehre und den Erfahrungen der Praxis.



Dr.-Ing. A. Frye, 19.12.2019

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für
Hochfrequenz- und Signaturtechnik

3 Untersuchung bzgl. Radar Elmenhorst

3.1 Aufgabenbeschreibung

Südsüdwestlich des Radarstandortes Elmenhorst ist in einer Distanz von ca. 10,5 km Entfernung die Errichtung von zwölf Windenergieanlagen vorgesehen. Geplant sind Anlagen vom Enercon E-147 EP5 E2 mit einer Nabenhöhe von ca. 155 m.

Außer den im Gutachten genannten Bestands- und Planungsanlagen im Richtungsbezug zwischen dem Radarstandort und dem Projekt im dargestellten Gebiet sind keine weiteren Bestandsanlagen vorhanden. Dieser Sachverhalt wurde überprüft mittels aktueller Luftaufnahmen, aktueller Überprüfungen des Auftraggebers und aktueller Informationen aus anderen Projekten. Sofern Bestandsanlagen ggf. zum Rückbau vorgesehen, der Rückbaustatus jedoch unklar sind, werden diese WEA als Bestandsanlagen berücksichtigt.

Geplante Anlagen:

Die technischen Parameter der geplanten Anlagen sind im Anhang auf Seite 46 aufgeführt. 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.

Die Distanzen zwischen dem Radar und der Anordnung der Windenergieanlagen werden mittels einer präzisen Berechnungsmethodik bestimmt, welche die Geodäten auf Basis des Referenzellipsoids WGS84 berechnet und ein detailliertes Geländeoberflächenprofil zwischen dem Radar und den Windenergieanlagen berücksichtigt.

Die Abweichungen gegenüber der Realität betragen bei diesem Verfahren für die untersuchten Entfernungen nur wenige Dezimeter. Bei diesem Verfahren wird der Einfluss durch die sich ergebende Erdkrümmung berücksichtigt.

Das Ausmaß der möglichen Einflüsse durch Rotorblätter wird im Folgenden für ein Blitzschutzkonzept berücksichtigt, das einen 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 WEA erzeugten und zu erwartenden radarverschattungswirksamen Störeinflüsse und daraus folgender Reichweitenminderungen zu erarbeiten und, soweit erforderlich, Maßnahmen zu deren Beseitigung und deren Wirksamkeit aufzuzeigen.

3.2 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.:

- 1) Computergestützte Strahlungsfeldanalysen der DASA/EADS zur Beurteilung der Einflüsse einzelner Windkraftanlagen im Nahbereich des militärischen Radarsensors Auenhausen/NRW. Die Resultate wurden in einem Bericht vom September 1998 zusammengefasst.
- 2) Flugvermessungen zur Verschattungswirkung von Windkraftanlagen im Nahbereich des Radarsensors Auenhausen im Jahr 1996. Diese messtechnische Kampagne diente der Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den durch Analyseverfahren ermittelbaren Änderungen des elektromagnetischen Ausbreitungsfeldes und der Zielgröße Erfassungswahrscheinlichkeit des Radarortungssystems.
- 3) Technische Vorgaben der Bundeswehr an die Untersuchung von Windenergieanlagen zum Radarsensor Brockzetel vom September 1998.
- 4) Durchgeführte computergestützte Strahlungsfeldanalyse der DASA/EADS 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 Modellparameter bei der Nachbildung dieser Windenergieanlagen entsprechen den Parametern der Untersu-

- chungen nach a und b zu Auenhausen, da hierbei jeweils eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den computergestützten Strahlungsfeldanalysen sowie den Flugvermessungen festgestellt wurde.
- 5) Durchgeführte Flugvermessungen zum Radarsensor Brockzetel/Niedersachsen vom April 1999. Diese messtechnische Kampagne diente der Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den durch Analyseverfahren ermittelbaren Änderungen des elektromagnetischen Ausbreitungsfeldes und der Zielgröße Erfassungswahrscheinlichkeit des Radarortungssystems.
 - 6) 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.
 - 7) Interpretation und Beteiligung an der Auswertung von Flugvermessungen im Rahmen der „Arbeitsgruppe Messtechnik“ – 1999 bis 2003 – unter Leitung des Luftwaffenführungskommandos.
 - 8) 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.
 - 9) 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.
 - 10) 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.
 - 11) Report DoD USA „ THE EFFECs OF WIND TURBINE FARMS ON MILITARY READINESS 2006“.
 - 12) Eurocontrol “ Guidelines from Wind turbine task force “ Version 1.2

- 13) ICAO EUR Doc. 15 2nd Edition, September 2009 und neuere Ausfertigungen.
- 14) ICAO – Doc 8071 – Manual on Testing of Radio Navigation Aids; Vol. III.
- 15) Abschlussbericht: Einfluss von Hindernissen auf HF-gestützte Führungsmittel vom 15.02.2004
- 16) Feldstudie RAF AWC „ The Effects of Wind turbine Farms on ATC Radar“ vom 10.05.2005
- 17) Messtechnische Untersuchung durch EADS an Rotorblättern und Bauweisen im Auftrag eines Windenergieanlagen-Herstellers zur Ermittlung von reflexionsdämpfenden Möglichkeiten aus 2003
- 18) Messtechnische RQS-Untersuchung einer WEA vom Typ Enercon E66 durch Fa. Qinetiq, Großbritannien aus 2003
- 19) Sondervermessung des Radars Auenhausen zum Einfluss von Windenergieanlagen – nicht öffentlich - im Auftrag des Einsatzführungsdienstes der Luftwaffe, Ausfertigung Januar 2013. Diese messtechnische Kampagne diente der Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den durch Analyseverfahren ermittelbaren Änderungen des elektromagnetischen Ausbreitungsfeldes und der Zielgröße Erfassungswahrscheinlichkeit des Radarortungssystems.
- 20) Bericht zur Feldvermessungen des RRP - 117 zur Lage und Radarsicht des Standortes Tempelhof, Bericht Januar 2009
- 21) Besprechung im Luftfahrtamt der Bundeswehr zur Bewertung von WEA vom 05. und 06.02.2018

3.3 Untersuchungsverfahren

Das eingesetzte numerische Untersuchungsverfahren zur Strahlungsfeldanalyse im Raum basiert bzgl. der Nachbildung der Windenergieanlagen als 3D-CAD-Objekte 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 im dreidimensionalen Raum bei jeder einzelnen Konfiguration einer Windenergieanlage oder einer Gruppe von Windenergieanlagen für verschiedene Raumgebiete sowie unterschiedliche Höhen durchgeführt. Dabei wird die Höhe, bzw. der Elevationswinkel des LFZ im Luftraum in großer Distanz variiert. In der vorliegenden Untersuchung wurde der Schwerpunkt auf einen sehr niedrigen Elevationswinkel (Höhenwinkel) von $0,2^\circ$ gelegt. Die Ergebnisse der Feldverteilung bzw. der Feldintensitäten liegen somit im dreidimensionalen 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 leicht geneigte 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 und verschiedenen Gondelorientierungen ergeben können, berücksichtigt.

Das elektromagnetische Strahlungsfeld wird im gesamten Entfernung- 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 viele Kilometer langen Feldgebiet entlang einer Verbindungsebene, ausgehend von der LFZ-Position bis zur Radarortungsanlage, dargestellt. Dieses Feldgebiet stellt somit den letzten Streckenabschnitt der vom LFZ reflektierten Radarwelle dar. In den Abbildungen sind somit die Feldstärkeverteilungen der letzten Kilometer 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 Polarisation 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 im 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, welche die Geodäten auf Basis des Referenzellipsoids WGS84 berechnet und eine detaillierte 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 berücksichtigt.

Anmerkung:

Bei trockenen Wetterverhältnissen werden sich um ca. 3 bis 5 dB geringere Reflexionsintensitäten der WEA- Rotorblätter einstellen, die eine geringere Streufeldintensität erwarten lassen. Dieser Zusammenhang hat jedoch keinen messbaren Einfluss auf das Ausbreitungsfeld jenseits der WEA.

Im Falle ggf. unbekannter Daten von Anlagentypen, insbesondere bei Bestandsanlagen, wurde entweder der nächstgrößere Anlagentyp der Baureihe verwendet, falls vorhanden, oder es wurden die Daten eines ähnlichen Modells berücksichtigt, stets unter Berücksichtigung des Worst-Case-Prinzips.

3.4 Technische Analyse für das 3D-LV-Radar Elmenhorst

Die Analyseergebnisse zeigen als Grundsatzbetrachtung auf der Grundlage von Ausbreitungsrechnungen im Betriebsfrequenzbereich von ca. 1,3 GHz die durch Windenergieanlagen verursachten Streufeldeinflüsse sowie radarwirksame Verschattungen und den Einfluss auf mögliche Reichweitenminderungen.

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 sowie für Teilanordnungen der WEAs mit den stärksten radialen Verdichtungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind damit übertragbar auf die gesamte Planung. Ein geringfügig größerer Rotordurchmesser bewirkt keine Abweichungen von den nachfolgenden Analyseergebnissen.

Notwendig ist die Analyse in verschiedenen Teilrichtungen, da die Radaranlage bei der Abtastung des Luftraums nicht alle WEA des genannten Projekts zeitgleich erfasst. Daher werden unter Berücksichtigung der Antennen- und Systemparameter verschiedene Teilrichtungen nacheinander geprüft.

Anlagen, die aufgrund topologischer Verschattung nicht vom Radar erfasst werden, wurden in der Analyse entsprechend nicht berücksichtigt.

Diese Ergebnisse basieren auf einem statischen Modell, das die Windenergieanlagen in ihrer Gesamthöhe inkl. Rotor berücksichtigt. Als Worst-Case-Annahme wird dabei die Kombination aus quer gestellter Gondeldimension und einer Rotororientierung gewählt, bei der die Rotorachse auf den Radarsensor zeigt.

Grundlage der vorliegenden Analysen ist eine angenommene Antennencharakteristik mit einer bzgl. der Elevation zwischen 0° und ca. 30° isotropen bzgl. der Intensität gleichförmigen Abstrahlung. Der untere Diagrammeinzug wird mit -20 dB für -10° angegeben.

Zur Absicherung der Nachweisführungen zur gutachterlich empfohlenen WEA-Anordnung, für die eine ausreichend geringe, messtechnisch nicht feststellbare Beeinflussung gegeben ist, wurden ggf. verschiedene Variationsrechnungen durchgeführt. Diese möglichen Variationen sind im Anhang D aufgeführt.

3.5 Randbedingungen für Analysen zu einem 3D-LV-Radar

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 Radaranlage zeigende Verschattungswirkung.

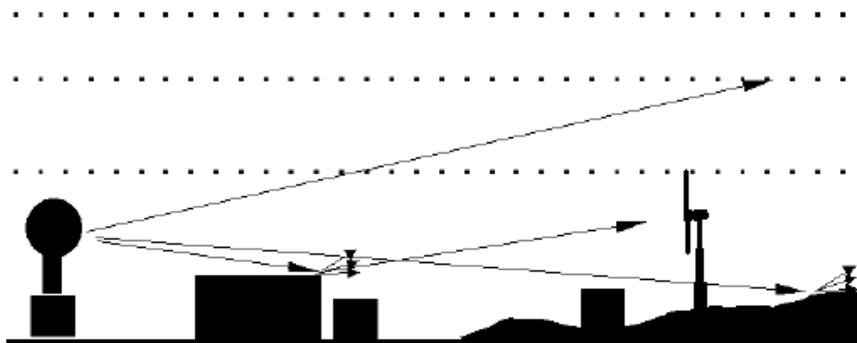


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Primärpfads. Die Ausbreitungsrichtung des Signals verläuft vom Radarsystem zum LFZ.

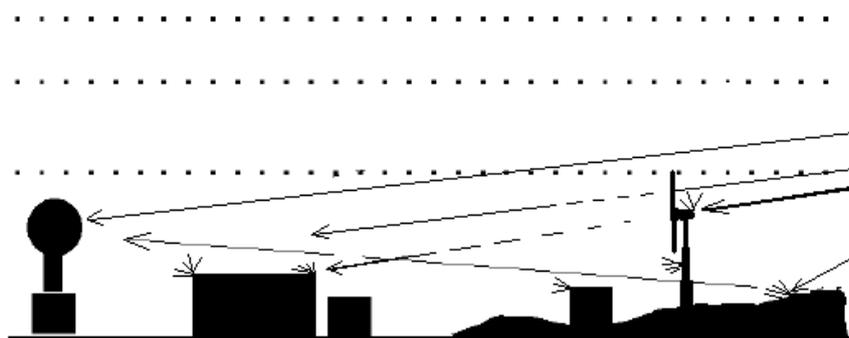


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Sekundärpfads. Die Ausbreitungsrichtung des Signals verläuft vom LFZ zum Radarsystem.

Die Bewertung der Ergebnisse zur Verschattung erfolgt im Hinblick auf die Möglichkeiten einer messtechnischen Erfassbarkeit dieser Einflüsse. 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 jedoch darauf hingewiesen, dass eine Minderung der messtechnisch mit Hilfe von z. B. RASS oder 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 ca. 5 NM. Das ungestörte Feld dient dabei als Bezug. Die Radarreichweite ist dabei auf 100 % normiert. Die LFZ-Position wird in 130 NM angenommen. Eine messbare Beeinflussung liegt danach bei einer Reichweitenminderung auf unter 96,2 % vor. Dieser Wert wird nachstehend als Entscheidungskriterium herangezogen.

Die Auswirkung durch eine oder mehrere Windenergieanlagen wird im dreidimensionalen Raum ermittelt.

3.6 Analyse für 0,2° Elevation

3.6.1 Randbedingungen für diese Aufgabenstellung

Abbildung 4 gibt die untersuchte Kubatur der Naben- und Generatorbauform wieder. Die Abmessungen der nachgebildeten Generatorgondel sowie die Durchmesser des jeweiligen oberen Säulenanschlusses sind angegeben.

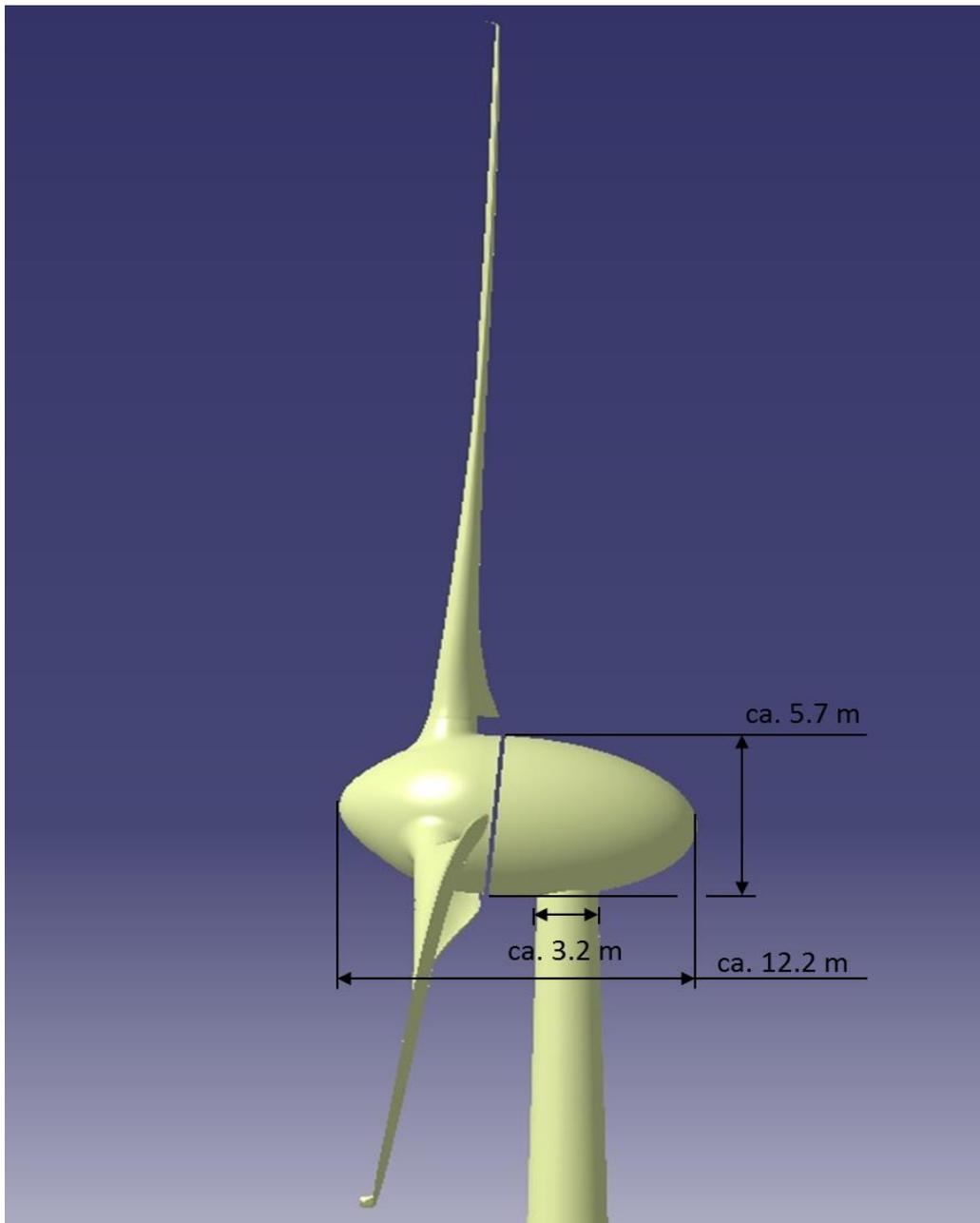


Abbildung 4: Schematische Objektgeometrie für die geplante WEA-Bauform Enercon E-147 EP5 E2 mit ca. 147 m Rotor, wie für die Analysen berücksichtigt

Die nachstehende Abbildung bietet eine Übersicht des erstellten 3D-CAD-Datensatzmodells für die geplanten Windenergieanlagenstandorte in der Übersicht und aus der Perspektive der Radaranlage Elmenhorst, stets in Kombination von frei verfügbaren Luftbildern, die auf den Radarrhöhendatensatz projiziert wurden.



Abbildung 5: Übersicht der Standorte Planungsanlagen (grün) sowie des Bestands (rot). Die Einstrahlungsrichtungen bzgl. des Radars Elmenhorst sind gelb 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 GmbH voraus. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster – Eintragung vorbehalten. Quellenangabe: Alle genutzten Darstellungen sind durch Airbus Defence and Space GmbH, bzw. den Bearbeiter erzeugt worden. Bei Luftaufnahmen wird teilweise auf Google Earth Abbildungen zurückgegriffen.

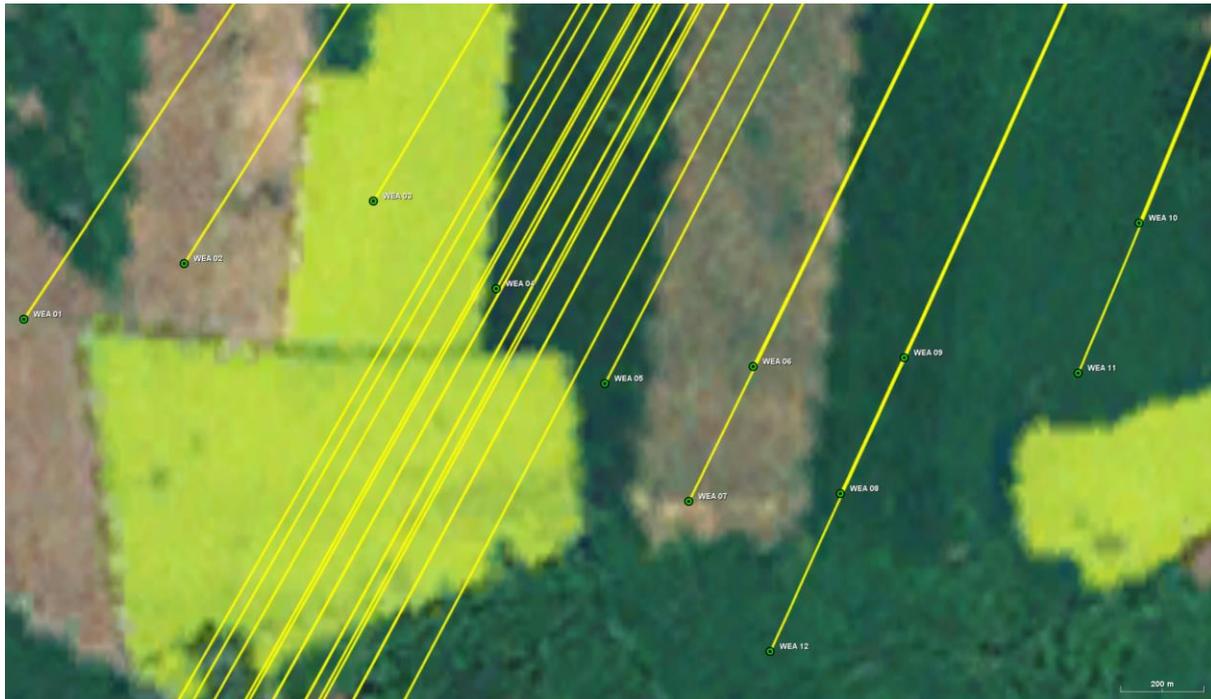


Abbildung 6: Luftaufnahme der Standorte der Planungsanlagen (grün)

Die nachstehende Abbildung 7 stellt schematisch einen zweidimensionalen 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 Abbildung 9 sind die Grundlage für die Untersuchungen. Die analysierten Ergebnisse aus Kapitel 3.6 sind gültig für Elevationswinkel von $0,2^\circ$.

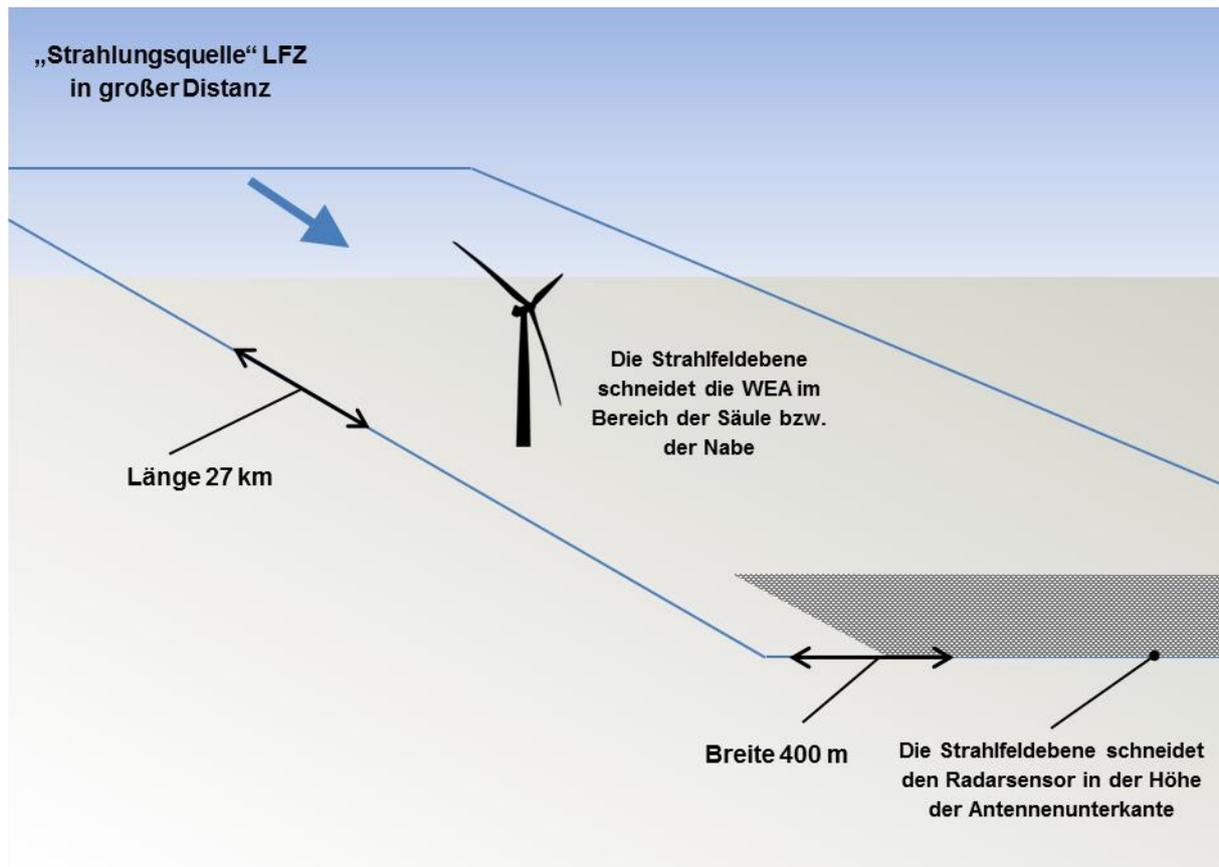


Abbildung 7: Anordnung von Radar und WEA sowie Lage des in dieser Untersuchung dargestellten Luftraums mit einer Ausdehnung von hier 27 km x 400 m Breite. Das LFZ wird in einer Distanz von bis zu 130 NM angenommen. Schematische Darstellung

Dargestellt ist in der vorliegenden Untersuchung das Feldgebiet für den Sekundärpfad, das das vom LFZ zurück reflektierte Signal zur Radaranlage bis 27 km Längenausdehnung und in einer Breite von 400 m darstellt. Der grau dargestellte Ausschnitt des Feldgebietes im Ortsbereich des Radars wird mehreren Detailanalysen unterzogen, um eine ausreichende Datenbasis für die zu erwartenden Einflüsse auf die Empfangsverhältnisse des Radarsensors zu erhalten.

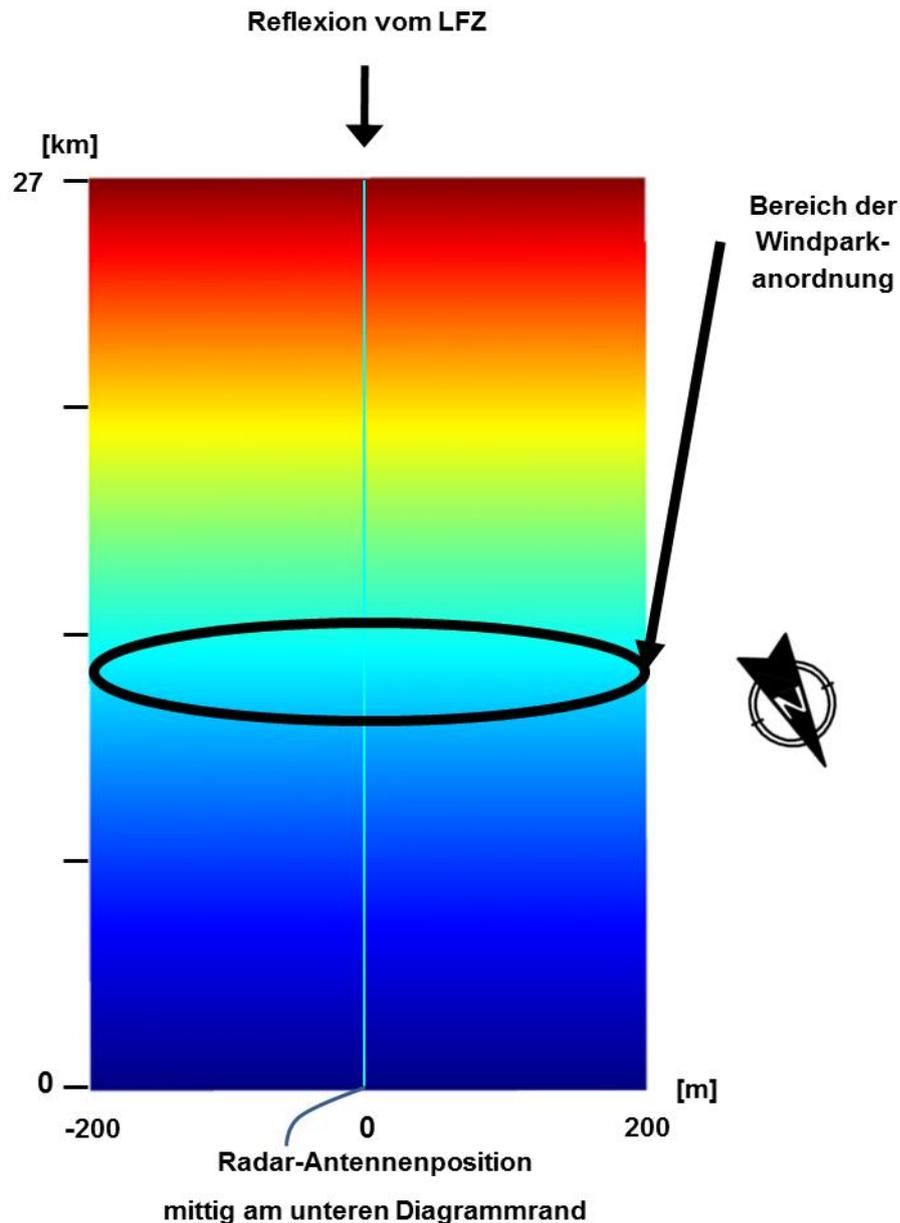


Abbildung 8: Feldgebiet von 27 km x 400 m in der Übersicht (schematische Übersicht für das Radar Elmenhorst)

Das Untersuchungsgebiet ist in der Übersicht dargestellt. Der Feldstärkeverlauf ist farblich in verschiedenen Abstufungen angegeben. Der Ort des geplanten Windparks wurde in Abbildung 8 schematisch in der geplanten Distanz zu den Radarsystemen als schwarze Ellipse gekennzeichnet. Die gemittelte Distanz des gesamten zukünftigen Windparks zum Radar Elmenhorst liegt bei ca. 11 km.

Durch die Analyse der Feldverteilung im Raum sind Rückschlüsse auf die Rückstreuung, die eine Falschzielerzeugung generieren kann, und Verschattungen, die Zielverluste generieren können, möglich. Aus der Gesamtanzahl der geplanten und vorhandenen WEA sind exemplarisch die ungünstigsten Anordnungen ausgewählt und unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen analysiert worden.

Die Nachbildung der geplanten Windenergieanlagen erfolgt gemäß Abbildung 4. Die Strahlungsfeldanalyse erfolgt für die vorgenannten Anlagentypen und Standortkombinationen.

Die nachstehende Abbildung 9 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 Elmenhorst gilt für den Fall ohne WEA im Rahmen der Simulation zum Strahlungsfeld der Referenzwert von:

-10,998 dBV/m (normierte Empfangsfeldstärke)

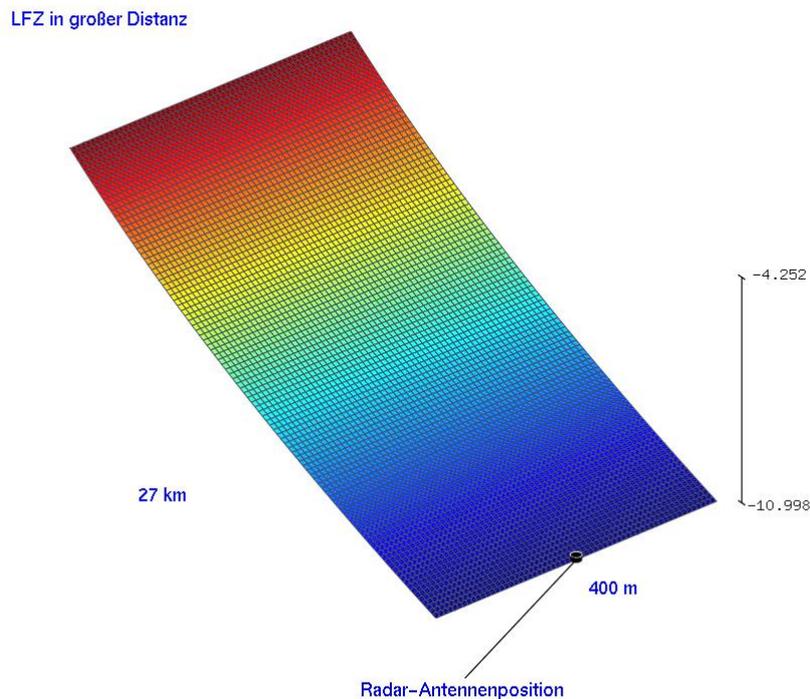


Abbildung 9: Das dargestellte Raumgebiet mit einer Elevation von $0,2^\circ$ ohne WEA-Einfluss sowie ohne Berücksichtigung der Topografie bzw. der relevanten Höhenunterschiede zwischen dem Radarstandort und den geplanten WEA-Standorten in der Konturdarstellung der normierten Feldstärkenverteilung für die Betriebsfrequenz des Radars Elementhorst

Die nachfolgenden Untersuchungsergebnisse 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. Der Richtungsbereich der Windenergieanlagen wird dabei in verschiedenen Teilrichtungen geprüft, in denen unter Berücksichtigung der Azimutbreite des Antennenbeams jeweils eine zeitgleiche Erfassung der WEA erfolgt. Dabei werden die Teilrichtungen mit der radartechnisch jeweils ungünstigsten Verdichtung zugrunde gelegt.

3.6.2 Künftige Situation mit den geplanten WEA

1. **WEA-Fünffachanordnung** der geplanten Situation gemäß Tabelle 1. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,2 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

T1				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	
WEA 11	Enercon E-147 EP5 E2	155	11033,69	
WEA 10	Enercon E-147 EP5 E2	155	10647,29	
WEA 12	Enercon E-147 EP5 E2	155	11940,6	
WEA 09	Enercon E-147 EP5 E2	155	11163,17	
WEA 08	Enercon E-147 EP5 E2	155	11523,54	
			<u>11261,66</u>	

Tabelle 1: Teilanordnung T1

2. **WEA-Fünffachanordnung** der geplanten Situation gemäß Tabelle 2. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,5 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

T2				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	
WEA 12	Enercon E-147 EP5 E2	155	11940,6	
WEA 09	Enercon E-147 EP5 E2	155	11163,17	
WEA 08	Enercon E-147 EP5 E2	155	11523,54	
WEA 07	Enercon E-147 EP5 E2	155	11693,92	
WEA 06	Enercon E-147 EP5 E2	155	11334,8	
			<u>11531,21</u>	

Tabelle 2: Teilanordnung T2

3. **WEA-Dreifachanordnung** der geplanten Situation gemäß Tabelle 3. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,5 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

T3				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	
WEA 07	Enercon E-147 EP5 E2	155	11693,92	
WEA 06	Enercon E-147 EP5 E2	155	11334,8	
WEA 05	Enercon E-147 EP5 E2	155	11529,85	
			<u>11519,52</u>	

Tabelle 3: Teilanordnung T3

4. **WEA-Doppelanordnung** der geplanten Situation gemäß Tabelle 4. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,5 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

T4				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	
WEA 05	Enercon E-147 EP5 E2	155	11529,85	
WEA 04	Enercon E-147 EP5 E2	155	11451,37	
			<u>11490,61</u>	

Tabelle 4: Teilanordnung T4

5. **WEA-Einzelanordnung** der geplanten Situation gemäß Tabelle 5. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,5 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

T5				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	
WEA 04	Enercon E-147 EP5 E2	155	11451,37	
			<u>11451,37</u>	

Tabelle 5: Teilanordnung T5

6. **WEA-Doppelanordnung** der geplanten Situation gemäß Tabelle 6. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,4 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

T6				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	
WEA 04	Enercon E-147 EP5 E2	155	11451,37	
WEA 03	Enercon E-147 EP5 E2	155	11415,05	
			<u>11433,21</u>	

Tabelle 6: Teilanordnung T6

7. **WEA-Doppelanordnung** der geplanten Situation gemäß Tabelle 7. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,6 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

T7				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	
WEA 03	Enercon E-147 EP5 E2	155	11415,05	
WEA 02	Enercon E-147 EP5 E2	155	11779,11	
			<u>11597,08</u>	

Tabelle 7: Teilanordnung T7

8. **WEA-Doppelanordnung** der geplanten Situation gemäß Tabelle 8. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,9 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

T8

WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]
WEA 02	Enercon E-147 EP5 E2	155	11779,11
WEA 01	Enercon E-147 EP5 E2	155	12098,78
			<u>11938,94</u>

Tabelle 8: Teilanordnung T8

3.6.3 Bewertung des Einflusses von Einzelanlagen und Gruppierungen

Die Nachbildung einer Windenergieanlage erfolgt schematisch betrachtet gemäß Abbildung 4. Die Strahlungsfeldanalyse erfolgt für die vorgenannten Anlagentypen und Standortkombinationen für eine Elevation von 0,2°.

Die Ergebnisse gemäß Abbildung 10 bis Abbildung 17 geben für die Frequenz von ca. 1,3 GHz der militärischen Radaranlage Elmenhorst die Ergebnisse der künftigen Situation für die Anordnungen mit den geplanten Windenergieanlagen als Teilanordnungen wieder.

Im direkten Vergleich mit der Referenz ohne WEA sind der jeweilige 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 aktuellen Radarsystems im Hinblick auf eine zeitgleiche Erfassung benachbarter WEA. Die Abbildung 18 gibt hierzu eine Übersicht für den Richtungsbereich der Planung.

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

Auswertung der künftigen Situation mit den geplanten WEA

WEA-Fünffachanordnung der geplanten Situation gemäß Tabelle 1. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,2 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

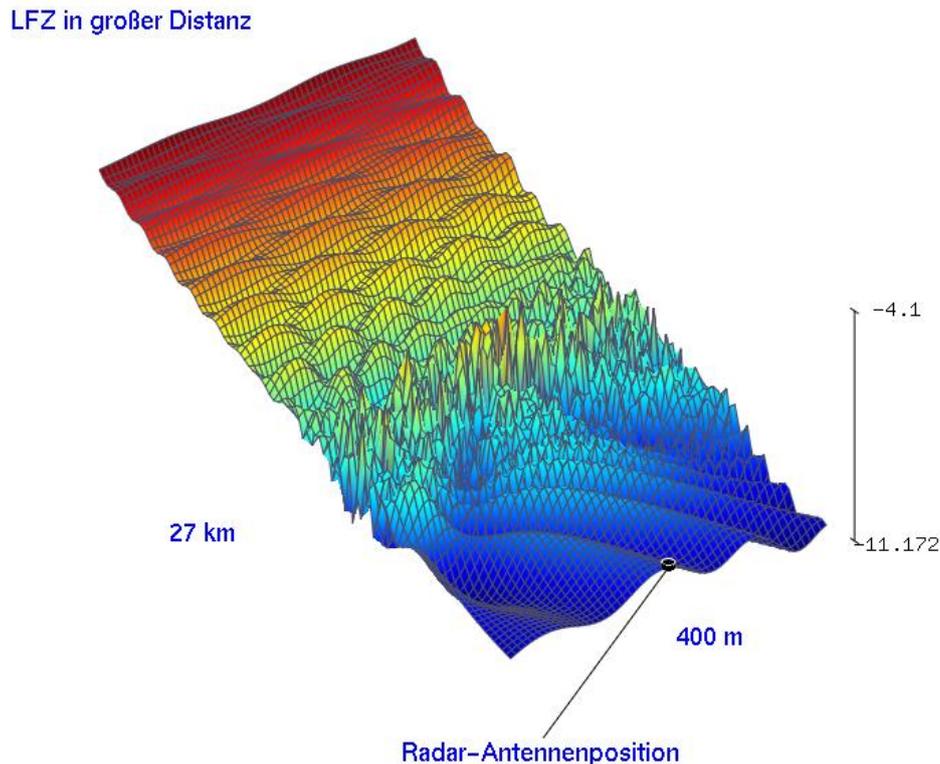


Abbildung 10: Reflexions- und Streufeldausbildung für die geplanten Windenergieanlagen als Fünffachanordnung im Einflussbereich der Radaranlage Elmenhorst mit Berücksichtigung der Topografie

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 10 mit $-11,172$ dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

98,02 %.

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar. Das Kriterium ist erfüllt.

WEA-Fünffachanordnung der geplanten Situation gemäß Tabelle 2. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,5 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

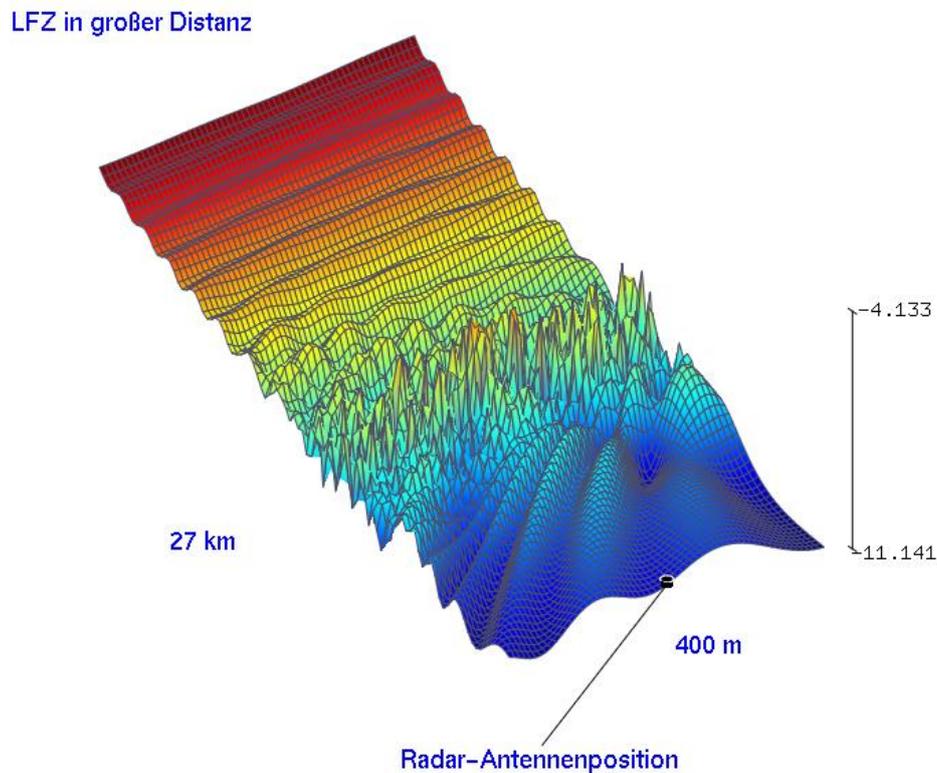


Abbildung 11: Reflexions- und Streufeldausbildung für die geplanten Windenergieanlagen als Fünffachanordnung im Einflussbereich der Radaranlage Elmenhorst mit Berücksichtigung der Topografie

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 11 mit $-11,141$ dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

98,37 %.

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar. Das Kriterium ist erfüllt.

WEA-Dreifachanordnung der geplanten Situation gemäß Tabelle 3. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,5 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

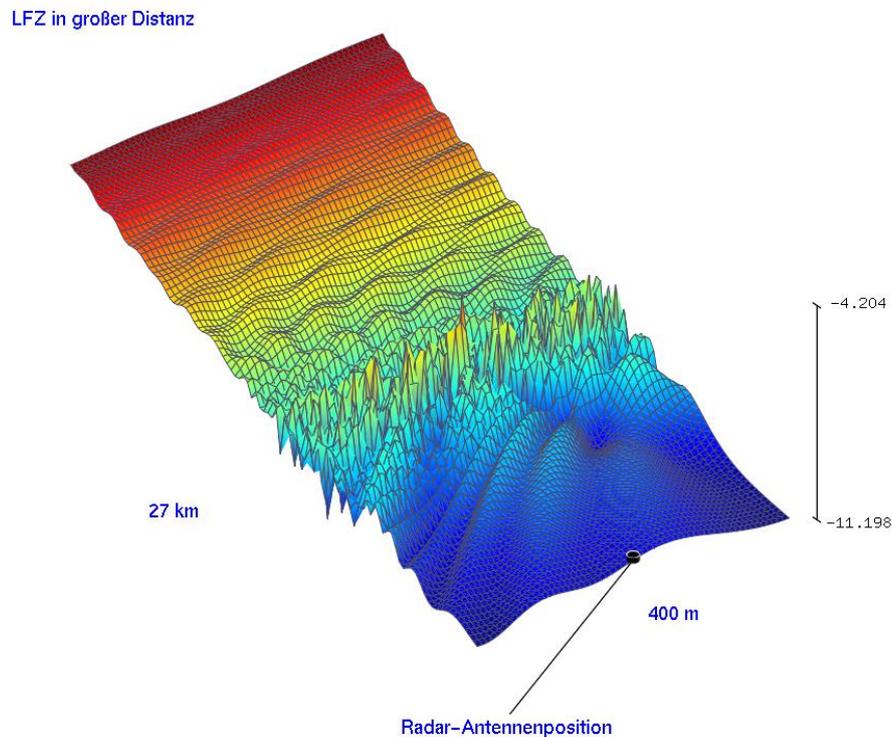


Abbildung 12: Reflexions- und Streufeldausbildung für die geplanten Windenergieanlagen als Einzelanordnung im Einflussbereich der Radaranlage Elmenhorst mit Berücksichtigung der Topografie

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 12 mit $-11,198$ dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

97,72 %.

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar. Das Kriterium ist erfüllt.

WEA-Doppelanordnung der geplanten Situation gemäß Tabelle 4. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,5 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

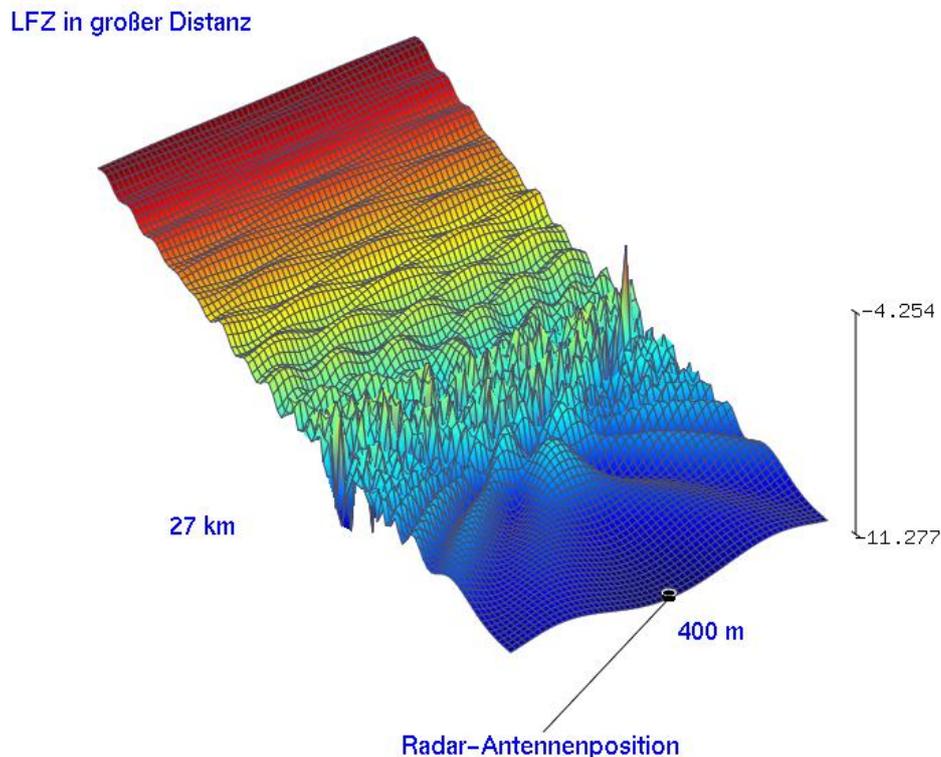


Abbildung 13: Reflexions- und Streufeldausbildung für die geplanten Windenergieanlagen als Einzelanordnung im Einflussbereich der Radaranlage Elmenhorst mit Berücksichtigung der Topografie

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 13 mit $-11,277$ dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

96,84 %.

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar. Das Kriterium ist erfüllt.

WEA-Einzelanordnung der geplanten Situation gemäß Tabelle 5. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,5 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

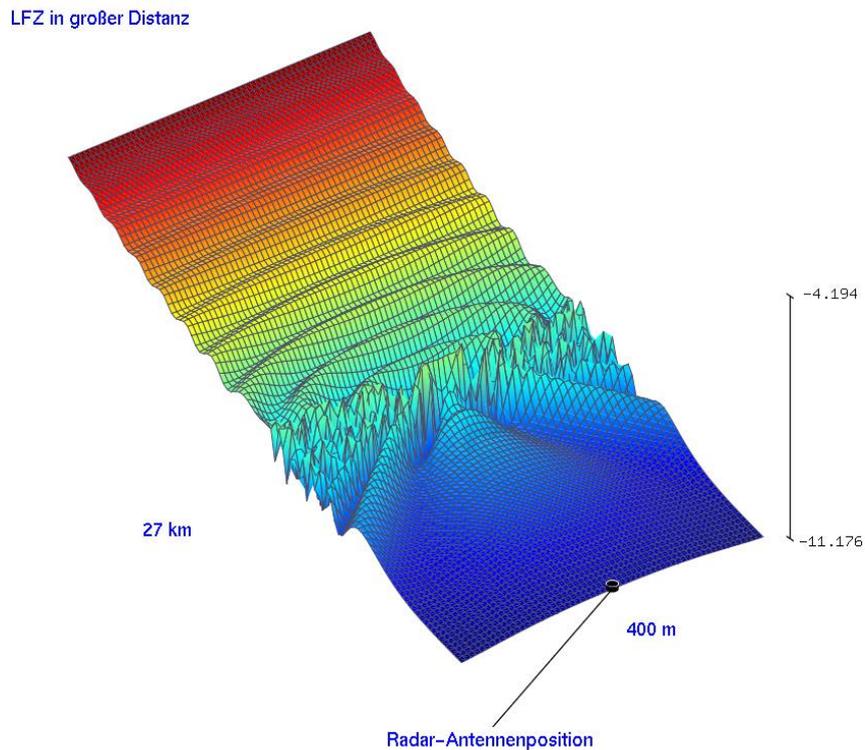


Abbildung 14: Reflexions- und Streufeldausbildung für die geplanten Windenergieanlagen als Einzelanordnung im Einflussbereich der Radaranlage Elmenhorst mit Berücksichtigung der Topografie

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 14 mit $-11,176$ dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

97,97 %.

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar. Das Kriterium ist erfüllt.

WEA-Doppelanordnung der geplanten Situation gemäß Tabelle 6. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,4 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

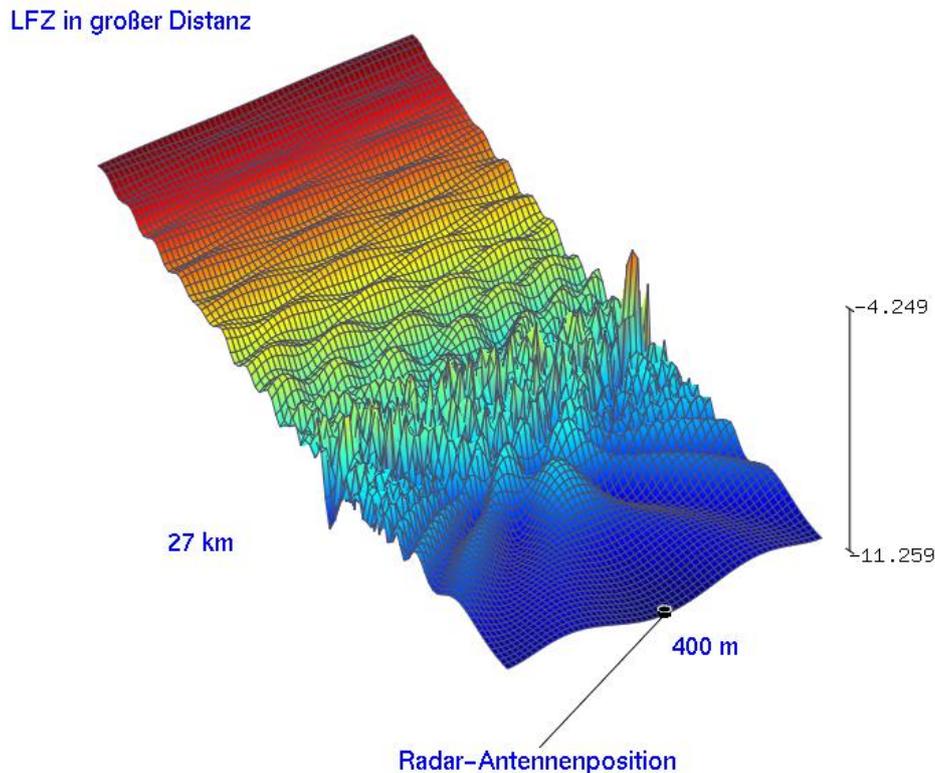


Abbildung 15: Reflexions- und Streufeldausbildung für die geplanten Windenergieanlagen als Einzelanordnung im Einflussbereich der Radaranlage Elmenhorst mit Berücksichtigung der Topografie

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 15 mit $-11,259$ dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

97,04 %.

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar. Das Kriterium ist erfüllt.

WEA-Doppelanordnung der geplanten Situation gemäß Tabelle 7. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,6 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

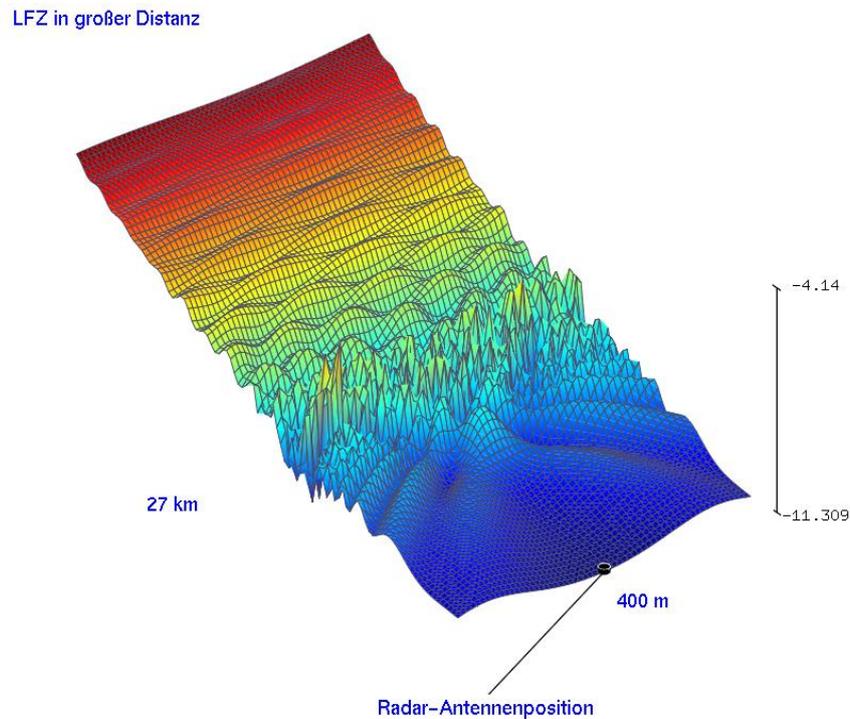


Abbildung 16: Reflexions- und Streufeldausbildung für die geplanten Windenergieanlagen als Einzelanordnung im Einflussbereich der Radaranlage Elmenhorst mit Berücksichtigung der Topografie

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 16 mit -11,309 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

96,48 %.

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar. Das Kriterium ist erfüllt.

WEA-Doppelanordnung der geplanten Situation gemäß Tabelle 8. Die Analysen werden für die dort aufgeführten Standorte bei einer Distanz von ca. 11,9 km zur Radaranlage Elmenhorst durchgeführt.

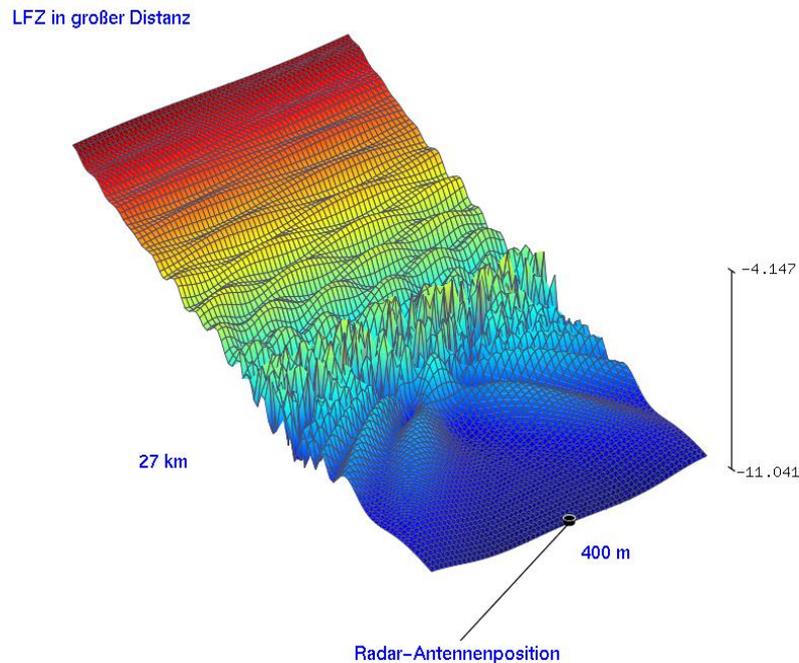


Abbildung 17: Reflexions- und Streufeldausbildung für die geplanten Windenergieanlagen als Einzelanordnung im Einflussbereich der Radaranlage Elmenhorst mit Berücksichtigung der Topografie

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 17 mit -11,041 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß der genannten Kriterien eine Reichweite von

99,51 %.

Der Verschattungseinfluss ist messtechnisch nicht feststellbar. Das Kriterium ist erfüllt.

3.6.4 Bewertung der Darstellung der normierten Feldstärkenverteilungen

Abbildung 9 zeigt als Konturdarstellung den Intensitätsverlauf der Feldstärke des elektromagnetischen Ausbreitungsfeldes. Sie zeigt als Referenz ohne WEA die kontinuierlichen Minderungen der Reflexionsfeldstärke eines vom Radarsensor angestrahlten Flugzeuges. Dabei wird das Luftfahrzeug bei einer Elevation von $0,2^\circ$ gegenüber der Höhenposition der Antenne angenommen.

Bei Berücksichtigung einer oder mehrerer WEA in der geplanten Distanz zum Radarsystem sowie unter Berücksichtigung der geplanten Bauhöhe der WEAs zeigen sich Einflüsse auf die Ausbreitung des elektromagnetischen Feldes in diesem Richtungsbereich. Dabei greift das elektromagnetische Feld aufgrund von Beugungs- bzw. Streuprozessen um das Hindernis herum. Es liegt somit im Hochfrequenzfeld keine vollständige Unterdrückung des elektromagnetischen Feldes entsprechend einer geometrischen Verschattung vor.

Abbildung 10 bis Abbildung 17 zeigen, dass bei einer Distanz zwischen WEA und Radarstandort von ca. 10,5 km Verschattungserscheinungen vorliegen, die am Ort der Radarantenne einer Reichweitenminderung von 100 % (ideal) auf minimal 96,48 % entsprechen. Es ergibt sich somit keine messbare Reichweitenminderung. Es zeigen sich weiter Streufelderscheinungen, insbesondere in seitlichen Richtungen. Zugleich ist den Abbildungen zu entnehmen, dass die Analysen in diesen Fällen Reflexionen durch die WEA zeigen, die zurück in Richtung des Luftfahrzeuges wirken.

3.6.5 Beurteilung

Für die Untersuchung der geplanten WEA liegt gemäß den Untersuchungsergebnissen bei Berücksichtigung der Geländetopografie kein Fall bzw. keine Teilrichtung vor, in der das Kriterium von 96,2 % bzgl. Verschattungen und Reichweitenminderungen verletzt wird.

Im direkten Vergleich mit der Referenz ohne WEA sind der jeweilige radartechnisch wirksame Verschattungseffekt von einer WEA-Struktur bis zur Radarortungsanlage sowie die von der WEA verursachten Streufelder im Nahbereich erkennbar. Deutlich sichtbar wird ebenfalls die unterschiedliche Ausdehnung und Ausprägung des

Streifeldes infolge von Reflexions- und Beugungserscheinungen an den verschiedenen WEA-Strukturen in Abhängigkeit von der Distanz zum Radarsensor.

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

Die Koordinaten der geplanten WEA sowie die Entfernung, die Elevation und der Azimutwinkelbezug zum Radar Elmenhorst sind Tabelle 9 zu entnehmen. Die Koordinaten aller in diesem Gutachten relevanten Windenergieanlagen sind im Anhang auf Seite 47 aufgelistet.

Standort	Anlage	WGS 84 Nord	WGS 84 Ost	Nabenhöhe [m]	Geländehöhe [m]	Elevation [°]	Distanz [m]	Winkel [°]
WEA 01	Enercon E-147 EP5 E2	53° 54' 35,30"	11° 0' 32,87"	155	29	0,4191	12098,78	213,5741
WEA 02	Enercon E-147 EP5 E2	53° 54' 39,62"	11° 0' 53,79"	155	27	0,423	11779,11	212,3835
WEA 03	Enercon E-147 EP5 E2	53° 54' 44,46"	11° 1' 18,56"	155	32	0,4641	11415,05	210,8666
WEA 04	Enercon E-147 EP5 E2	53° 54' 37,67"	11° 1' 34,56"	155	28	0,4423	11451,37	209,0733
WEA 05	Enercon E-147 EP5 E2	53° 54' 30,30"	11° 1' 48,75"	155	24	0,419	11529,85	207,3984
WEA 06	Enercon E-147 EP5 E2	53° 54' 31,63"	11° 2' 8,15"	155	24	0,4275	11334,8	205,903
WEA 07	Enercon E-147 EP5 E2	53° 54' 21,12"	11° 1' 59,77"	155	17	0,3777	11693,92	205,8837
WEA 08	Enercon E-147 EP5 E2	53° 54' 21,71"	11° 2' 19,67"	155	12	0,3595	11523,54	204,2969
WEA 09	Enercon E-147 EP5 E2	53° 54' 32,31"	11° 2' 27,88"	155	25	0,4404	11163,17	204,2862
WEA 10	Enercon E-147 EP5 E2	53° 54' 42,74"	11° 2' 58,37"	155	38	0,5352	10647,29	202,2664
WEA 11	Enercon E-147 EP5 E2	53° 54' 31,12"	11° 2' 50,59"	155	27	0,4567	11033,69	202,2442
WEA 12	Enercon E-147 EP5 E2	53° 54' 9,36"	11° 2' 10,48"	155	8	0,325	11940,6	204,2792

Tabelle 9: Koordinatenübersicht über die Planungsanlagen des Windparks

Abbildung 18 gibt die Perspektive der geplanten Windenergieanlagen über Azimut und Elevation bzgl. der Gondelpositionen für das Radar wieder. Der Bereich der gemäß der Ergebnisse nach Abbildung 10 bis Abbildung 17 untersuchten Teilanordnungen ist farbig hinterlegt.

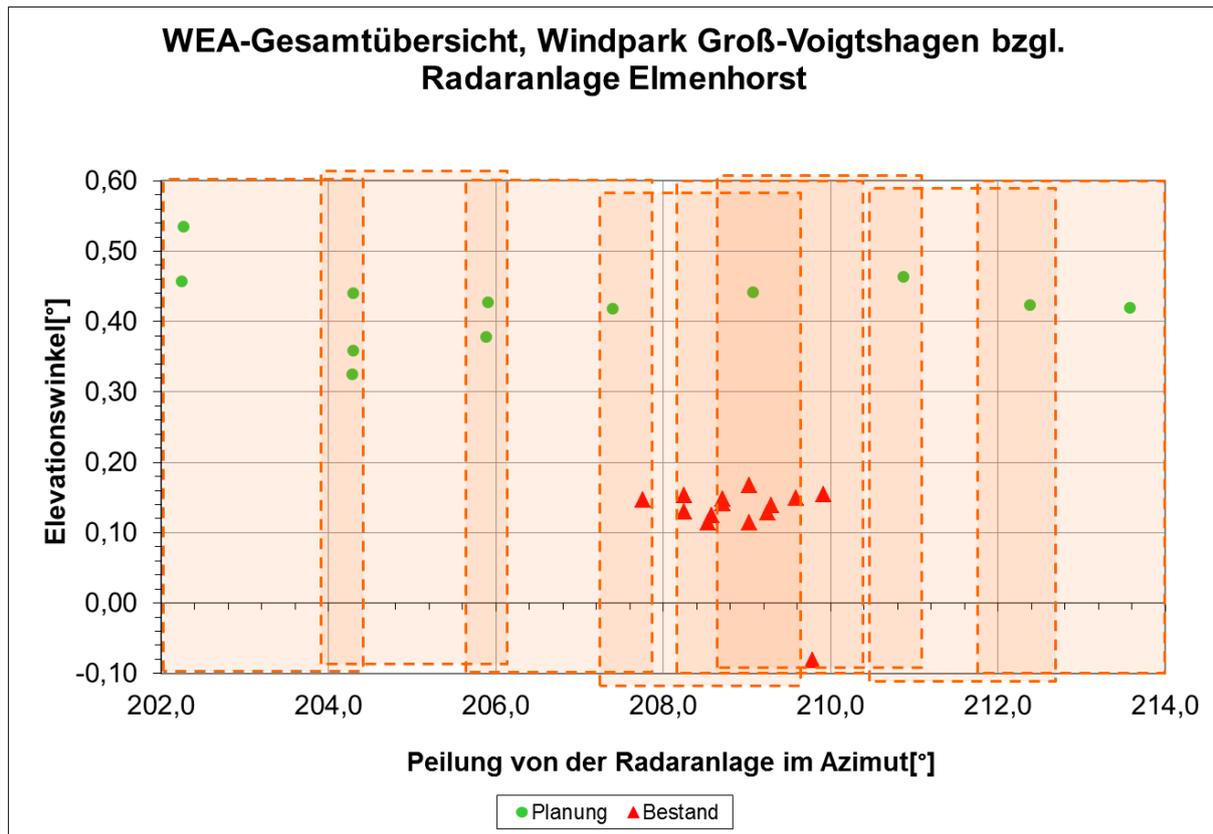


Abbildung 18: Perspektive zur Gondelanordnung gemäß Azimut und Elevation für die Position des Radars Elmenhorst. Farblich gekennzeichnet sind die Gondelpositionen. Der Richtungsbereich der gemäß Abschnitt 3 analysierten Teilanordnungen T1 bis T8 ist schematisch von links nach rechts gekennzeichnet.

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, so werden, bedingt durch die direkten Verschattungen sowie stärkeren Wechselwir-

kungen 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.

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 Azimutauflösung des Radargerätes.

Die nachstehende Abbildung 19 zeigt eine Zusammenstellung der Ergebnisse zu den ermittelten Reichweitenminderungen mit Berücksichtigung der Topografie.

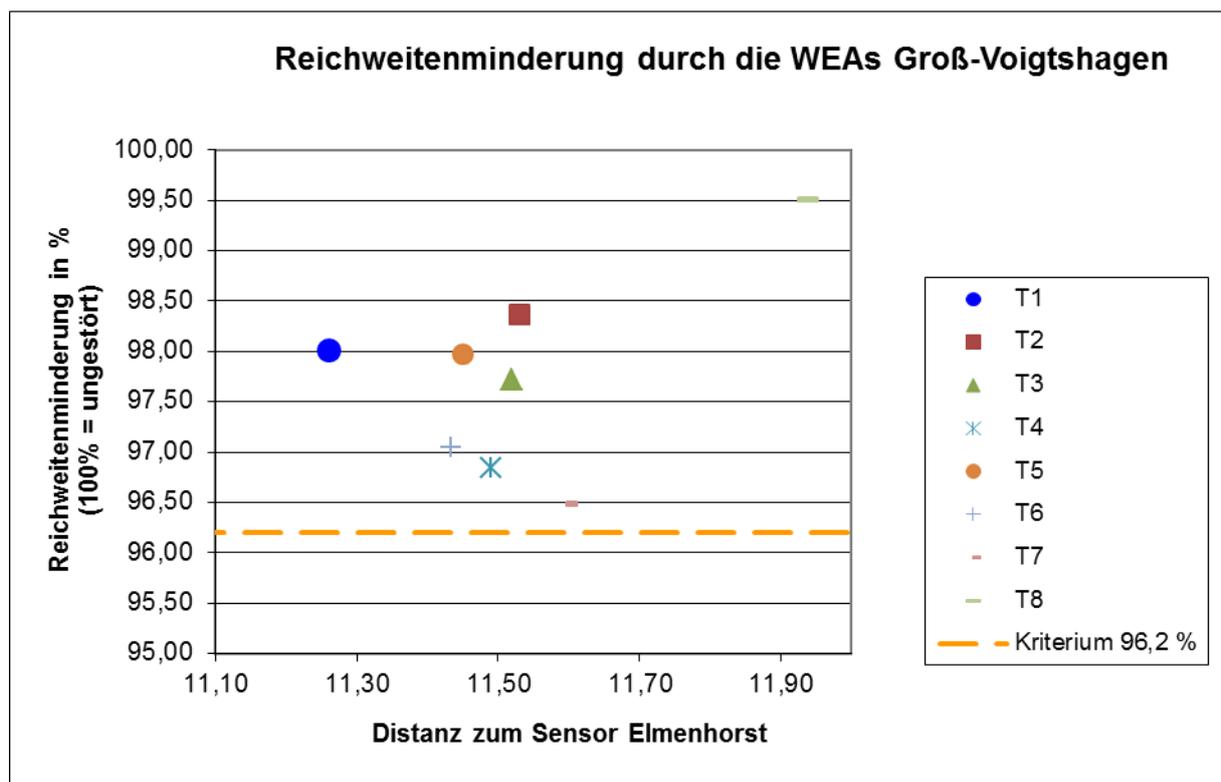


Abbildung 19: Übersicht über die zu erwartende Reichweitenreduktion bei den angegebenen WEA-Konstellationen unter Berücksichtigung der Topografie

Anhang A: Abkürzungen

AntUk	=	Antennenunterkante	
ASR	=	Airport Surveillance Radar (Primärradar)	2D-Radar
GND	=	Geländehöhe	
LFZ	=	Luftfahrzeug	
LV-Radar	=	Radar zur Luftverteidigung;	3D-Radar
MoM	=	Momentenmethode ; Analyseverfahren zur Hochfrequenzausbreitung	
MPR	=	Typenbezeichnung eines Radargerätes zur Luftverteidigung	
NH	=	Nabenhöhe	
PHIDP	=	Differentielle Phase (Phasenverschiebung des empfangenden Signals aus horizontaler- und vertikaler Polarisation)	
Radar	=	Radio Detection and Ranging	
RASS	=	Verfahren/Tool zur messtechnischen Bewertung von Radarsystemen	
RHOHV	=	Korrelationskoeffizient (Amplitudenkorrelation des empfangenden Signals aus horizontaler und vertikaler Polarisation)	
RQS/RCS	=	Radar-Cross-Section (Radarquerschnitt/Radarreflexionsintensität)	
RQS _{dyn.}	=	dynamischer RQS; zeitlich sich ändernde Reflexionsbeiträge von bewegten Objekten	
Reichweiten- minderung	=	Maß für die Beschränkung/Minderung der radarwirksamen Einsehbarkeit in definierte Luftraumsektionen. Die ideale Betriebsbedingung liegt vor für einen Wert von 100 %.	
SSR/IFF	=	Secondary Surveillance Radar (Sekundärradar)	
UTD	=	Uniform Theorie of Diffraction: Analyseverfahren zur Hochfrequenzausbreitung	
WEA	=	Windenergieanlage	
Z	=	Reflektivität	

Anhang B: Technische Parameter der geplanten WEA

Nachstehend sind die radartechnisch relevanten WEA-Parameter zusammengestellt:

Enercon E-147 EP5 E2:

- Rotordurchmesser: ca. 147 m
- Nabhöhe: ca. 155 m
- Säulenquerschnitt oben: ca. 3,2 m
- Gondeldimension: ca. 6,1 m x 12,1 m

Anhang C: Koordinaten

Nachstehend sind die Koordinaten (WGS 84) aufgeführt, die diesem Gutachten für die Analyse zu Grunde liegen. Die Planung ist grün gekennzeichnet. Koordinaten, Anlagentypen und Geländehöhen der Planung wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Der Bestand stammt aus früheren Projekten aus unserem Hause.

Bezeichnung	WGS 84 Nord	WGS 84 Ost	Anlagentyp	Geländehöhe ü. NN [m]	Nabenhöhe ü. Grund [m]
Windpark Groß-Voigtshagen					
WEA 01	53° 54' 35,30"	11° 0' 32,87"	Enercon E-147 EP5 E2	29	155
WEA 02	53° 54' 39,62"	11° 0' 53,79"	Enercon E-147 EP5 E2	27	155
WEA 03	53° 54' 44,46"	11° 1' 18,56"	Enercon E-147 EP5 E2	32	155
WEA 04	53° 54' 37,67"	11° 1' 34,56"	Enercon E-147 EP5 E2	28	155
WEA 05	53° 54' 30,30"	11° 1' 48,75"	Enercon E-147 EP5 E2	24	155
WEA 06	53° 54' 31,63"	11° 2' 8,15"	Enercon E-147 EP5 E2	24	155
WEA 07	53° 54' 21,12"	11° 1' 59,77"	Enercon E-147 EP5 E2	17	155
WEA 08	53° 54' 21,71"	11° 2' 19,67"	Enercon E-147 EP5 E2	12	155
WEA 09	53° 54' 32,31"	11° 2' 27,88"	Enercon E-147 EP5 E2	25	155
WEA 10	53° 54' 42,74"	11° 2' 58,37"	Enercon E-147 EP5 E2	38	155
WEA 11	53° 54' 31,12"	11° 2' 50,59"	Enercon E-147 EP5 E2	27	155
WEA 12	53° 54' 9,36"	11° 2' 10,48"	Enercon E-147 EP5 E2	8	155
VB 1	53° 50' 11,56"	10° 57' 9,07"	VESTAS V80-2.0MW	4,8	78
VB 9	53° 50' 9,51"	10° 57' 35,44"	ENERCON E-82 E2	15,6	138,4
VB 10	53° 50' 31,04"	10° 57' 54,20"	ENERCON E-92 2,3 MW	16	138,4
VB 11	53° 50' 21,65"	10° 58' 3,84"	ENERCON E-92 2,3 MW	24,3	138,4
VB 12	53° 50' 14,97"	10° 57' 46,85"	ENERCON E-82 E2	19,8	138,4
VB 13	53° 50' 22,77"	10° 57' 43,74"	ENERCON E-92 2,3 MW	23	138,4
Neu 01	53° 50' 5,37"	10° 57' 20,59"	ENERCON E-92 2,3 MW	16,58	138,4
Neu 02	53° 50' 17,66"	10° 57' 27,02"	ENERCON E-92 2,3 MW	19,88	138,4
Neu 03	53° 50' 31,80"	10° 57' 39,45"	ENERCON E-92 2,3 MW	21,2	138,4
Neu 04	53° 50' 40,41"	10° 57' 41,16"	ENERCON E-92 2,3 MW	23,57	138,4
Neu 05	53° 50' 39,61"	10° 57' 59,22"	ENERCON E-92 2,3 MW	22,81	138,4
Neu 06	53° 50' 49,10"	10° 57' 42,23"	ENERCON E-92 2,3 MW	24,46	138,4
Neu 07	53° 50' 51,27"	10° 58' 3,43"	ENERCON E-92 2,3 MW	27,55	138,4
Neu 08	53° 50' 50,29"	10° 58' 18,79"	ENERCON E-92 2,3 MW	21,92	138,4

Tabelle 10: Verwendete Koordinaten. Die Planung ist grün gekennzeichnet.

Anhang D: Variationsrechnungen

Abhängig von der jeweils konkret vorliegenden Projektplanung sind ggf. eine oder mehrere Variationsrechnungen notwendig, um das Analyseergebnis abzusichern. Im Rahmen der technischen Analysen zum Einfluss der WEA-Gruppierung, bestehend aus dem WEA-Bestand sowie der WEA-Planung, wurden hier in verschiedenen Teilrichtungen, in denen eine zeitgleiche Erfassung der WEA unter Berücksichtigung der gegebenen Antennencharakteristik gegeben ist, die folgenden Variationen durchgeführt:

Vorher/Nachher-Analyse:

Analyse des vorhandenen WEA-Bestandes versus Analyse der Planung inklusive verbleibendem Bestand

Variationsrechnungen zu dem geplanten WP-Layout:

Das Layout wurde bzgl. der geplanten WEA-Anzahl in verschiedenen Varianten geprüft.

Variationsrechnungen zu den geplanten WEA-Standorten:

Für die Planungsstandorte wurden zulässige Abweichungen jeweils um einige Meter geprüft.

Variationsrechnungen zu den geplanten WEA-Anlagentypen:

Für die Planungsstandorte wurden alternative Anlagentypen geprüft.

Variationsrechnungen zu den geplanten WEA-Nabenhöhen:

Für jede Planungsanlage wurden verschiedene Nabenhöhen untersucht, u. a. zur Ermittlung der maximal zulässigen Nabenhöhe.

Variationsrechnungen zur Elevation der LFZ-Position in großer Distanz:

Die Höhe der LFZ-Position in der Elevation jenseits der WEA wurde variiert u. a. zur Überprüfung geringerer Elevationen, für die die Ergebnisse gültig sind.

Variationsrechnungen zur Azimutrichtung der LFZ-Position in großer Distanz:

Die Detailrichtung der LFZ-Position im Azimut jenseits der WEA wurde variiert u. a. zur Ermittlung des Einflusses auf das Ergebnis.