
**Signaturtechnisches Gutachten zur Planung von Windenergieanlagen
im Gebiet Grönebach-Hillekopf im Einflussbereich der militärischen
Radaranlage Erndtebrück**

Gutachten Nr.: TADYX-147/25

Datum: 29.09.2025

Auftraggeber:

ENOVA Windpark Hillekopf-Hildfeld GmbH &
Co. KG
Steinhausstraße 112
26831 Bunderhee

Auftragnehmer:

Airbus Defence and Space GmbH
Airbus-Allee 1
28199 Bremen

Durchgeführt von:

Dipl.-Ing. (FH) Michael Gottschalk

*von der Handelskammer Bremen öffentlich
bestellter und vereidigter Sachverständiger
für Hochfrequenz- und Signaturtechnik, ins-
besondere Störeinflussanalysen für Wind-
energieanlagen*

unter Beteiligung von:

M.Sc. Jannis Müller

T +49.421.539-3020
M +49.170.269-9608
E michael.gottschalk@airbus.com

Das Gutachten besteht aus den Seiten 1 bis 42.

Inhaltsverzeichnis:

Abkürzungen und Begriffe	3
1 Vorbemerkung zum Gutachten	4
2 Zielsetzung	5
3 Aufgabenbeschreibung	8
4 Referenzuntersuchung.....	9
5 Untersuchungsverfahren.....	13
6 Technische Analyse	16
6.1 Radartechnische Randbedingungen	19
6.2 Bewertung des Einflusses von Einzelanlagen und Gruppierungen.....	23
6.3 Bewertung des Gesamteinflusses des Windparks	36
7 Gesamtbeurteilung/Zusammenfassung der Ergebnisse	39

Abkürzungen und Begriffe

HADR	=	Typenbezeichnung eines Radargerätes zur Luftverteidigung
ICAO	=	Internationale Zivilluftfahrtorganisation
Lfz	=	Luftfahrzeug
LV-Radar	=	Radar zur Luftverteidigung; 3D-Radar
MoM	=	Momentenmethode; Analyseverfahren zur Hochfrequenzausbreitung
MPR	=	Typenbezeichnung eines Radargerätes zur Luftverteidigung
NH	=	Nabenhöhe
Radial	=	Betrachtung der Linie Radar-Zielobjekt
Reichweiten- minderung	=	Maß für die Beschränkung/Minderung der radarwirksamen Einsehbarkeit in definierte Luftraumsektionen. Die ideale Betriebsbedingung liegt vor für einen Wert von 100 %.
RQS/RCS	=	Radar-Cross-Section (Radarquerschnitt/Radarreflexionsintensität)
RRP 117	=	Typenbezeichnung eines Radargerätes zur Luftverteidigung
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)
WEA	=	Windenergieanlage

1 Vorbemerkung zum Gutachten

Das vorliegende Gutachten fasst die Erkenntnisse und den technischen Stand der fachlichen Abstimmung mit den Entscheidungsträgern des Luftfahrtamtes der Bundeswehr, insbesondere der militärischen Flugsicherung bzw. des Radar-Einsatzführungsdienstes der Luftwaffe, zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichtes zusammen.

Das Gutachten dient zur Vorlage und als 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 Erndtebrück.

Eine betriebliche Bewertung, die eine nichttechnische Folgenabschätzung für die Nutzer der Radarsysteme bedeutet bzw. ob mögliche Einflüsse zu betrieblich relevanten Störungen der Radarortungsanlagen führen, erfolgt im Rahmen dieser Untersuchung nicht, da hierzu u. a. eine sehr konkrete operationelle Bewertung der Aufgaben der Radarortungssysteme erforderlich ist.

Eine Überprüfung der Anforderungen der Hindernisfreiheit gemäß der ICAO - Convention Annex 14, die die grundsätzlich zulässige Bauhöhe von Objekten beliebiger Art festlegt, erfolgt im Rahmen des Gutachtens nicht. Diese ist für jeden Umgebungsort eines Flugplatzes festgelegt und unveränderlich. Sie dient dem Schutz von Luftfahrzeugen im Flug und steht nicht im Zusammenhang mit der radartechnischen Problematik, die Gegenstand des Gutachtens ist.

Nachstehend erfolgt zunächst die technische Bewertung für das Luftverteidigungsradar (LV-Radar) Erndtebrück gemäß Kapitel 2 bis 6.

Die Gesamtbeurteilung der einzelnen Ergebnisse zum LV-Radar Erndtebrück ist im Kapitel 7 dargestellt.

2 Zielsetzung

Die Analyse eines möglichen Störpotentials gegenüber dem Luftverteidigungsradarsystem in Erndtebrück erfolgt für 11 geplante Windenergieanlagen. Als Vorbelastung wurden 46 Windenergieanlagen verschiedener Typen und Nabenhöhen berücksichtigt. Die geplanten Windenergieanlagen im Windpark Grönebach-Hillekopf befinden sich nordöstlich des Radarstandortes Erndtebrück in einer Entfernung von ca. 35,7 km. In der Untersuchung berücksichtigte Koordinaten der WEAs sind Tabelle 9 zu entnehmen.

Im Rahmen der aktuellen Planung zu diesem Projekt erfolgt eine Bewertung anhand der geplanten sowie vorhandenen WEA im Hinblick auf die Störfreiheit gemäß den Forderungen zur Vermeidung von radarwirksamen Verschattungserscheinungen, die im Schwerpunkt für 3D-Radarsysteme relevant sind.

Dabei stützt sich eine Untersuchung zur Klärung der technischen Möglichkeiten im Hinblick auf die Sicherstellung der Erhaltung der heutigen (Stör-) Situation bzw. zur Klärung des zu erwartenden veränderten Störpotentials durch die neu geplanten Windenergieanlagen auf vergleichbare Vorhaben in der Umgebung von Radarortungsanlagen zur Luftverteidigung ab. In der vorliegenden Untersuchung werden die technischen Betriebsparameter der Radarortungsanlage Erndtebrück, die einer Sicherheitseinstufung unterliegen, zu Grunde gelegt. Eine ausführliche Beschreibung der technischen Betriebsparameter und Aufgabenstellungen des Systems erfolgt aus diesem Grund nicht.

Die Beurteilung möglicher Störeinflüsse von Windenergieparks und Windenergieanlagen erfolgt daher unter folgenden Kriterien für 3D-Radarsysteme:

- Messtechnisch feststellbare Radarverschattungen durch die geplanten WEA
- Gerichtete Reflexionen
- Streufelderscheinungen, insbesondere infolge von Wechselwirkungen zwischen benachbarten Windenergieanlagen

- Bewertung der Streufeldintensität für einzelne WEA wie auch für mehrere WEA unter Berücksichtigung deren Wechselwirkung
- Messtechnisch feststellbare Radarverschattungen durch die geplanten WEA im Falle der notwendigen Berücksichtigung vorhandener räumlich vor- oder nachgelagerter WEA im Hinblick auf 3D-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 4.

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 Feldvermessungsberichte 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 Rangenfenster 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 4 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 Turm- 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 den Windpark Grönebach-Hillekopf sind 11 Windenergieanlagen vom Typ Enercon E-175 mit 174,5 m Nabenhöhe geplant. Als Vorbelastung wurden 46 Windenergieanlagen verschiedener Typen und Nabenhöhen berücksichtigt.

Für diese Windenergieanlagen wurde der Einfluss der geplanten Situation unter radartechnischen Aspekten sowie unter Beachtung der topografischen Bedingungen geprüft. Auf dieser Grundlage erfolgen Rückschlüsse zu den Wechselwirkungen zwischen den vorhandenen und künftigen Einflüssen auf das Radarsystem unter den vorgenannten technischen Aspekten.

Es werden im Ergebnis Vorschläge formuliert und begründet, an welchen Orten zusätzliche Windenergieanlagen unter den genannten radartechnischen Kriterien als zulässig erachtet werden. In diesem Zusammenhang sind verschiedene Variationsmöglichkeiten zum Projekt untersucht worden.

3 Aufgabenbeschreibung

Nordöstlich des Radarstandortes Erndtebrück ist in ca. 35,7 km Entfernung die Errichtung von 11 Windenergieanlagen vom Typ Enercon E-175 mit 174,5 m Nabenhöhe geplant. Als Vorbelastung wurden 46 Windenergieanlagen verschiedener Typen und Nabenhöhen berücksichtigt.

Geplante Anlagen:

Der geplante Anlagentyp Enercon E-175 hat eine horizontale Ausdehnung der Naben- und Generatorkonstruktion von maximal ca. 19,65 m. Die Höhe kann mit maximal 10,08 m angegeben werden. Der Querschnitt des Turms als Stahlurm oder Stahlbetonturm am Anschluss zur Gondel ist mit ca. 4,04 m angegeben. Der Rotordurchmesser beträgt ca. 175 m. Die ermittelten Ergebnisse in diesem Gutachten behalten auch bei einem ggf. kleineren Rotordurchmesser ihre Gültigkeit ohne Einschränkungen.

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 folgenden Reichweitenminderungen zu erarbeiten und (soweit erforderlich) Maßnahmen zu deren Beseitigung und deren Wirksamkeit aufzuzeigen.

4 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 Untersuchungen 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 EFFECTS 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) Besprechung und Vortrag bei „Eurocontrol / Wind energy task group“ vom 01.03.2006 „Potential effects of wind turbines and justiciable solutions“
- 20) Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors, Version 0.15 vom 30. Juni 2009
- 21) EADS Erkenntnisse aus messtechnischen Untersuchungen der Luftwaffe zum Einfluss von Windenergieanlagen auf die Erfassungen von Flugzielen am Beispiel einer 3D-Radaranlage zur Luftverteidigung aus 2011
- 22) Sonderversuchung des Radars Auenhausen zum Einfluss von Windenergieanlagen – nicht öffentlich – im Auftrag des Einsatzführungs-

dienstes 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.

- 23) Berichte zu Feldvermessungen verschiedener Radargerätetypen zur Lage und Radarsicht an verschiedenen Radarstandorten, Bericht zwischen 2008 und 2016
- 24) Besprechung im Luftfahrtamt der Bundeswehr zur Bewertung von WEA vom 05. und 06.02.2018
- 25) Besprechung im Luftfahrtamt der Bundeswehr zur Bewertung von WEA im Zusammenhang mit dem Störzellentool vom 26.11. 2019

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 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 im dreidimensionalen Raum bei jeder einzelnen Konfiguration der Bauwerke bzw. 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. Die Ergebnisse der Feldverteilung bzw. der Feldintensitäten liegen für alle analysierten Richtungsbereiche der WEA-Anordnungen im dreidimensionalen Raum vor. In der vorliegenden Untersuchung wurde der Schwerpunkt auf einen sehr niedrigen Elevationswinkel (Höhenwinkel) von $0,10^\circ$ gelegt.

Die Objektstrukturen der untersuchten Bauwerke, wie WEA, Strommasten oder andere 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. Die Rotororientierung wird hierbei so gewählt, dass die Rotorachse auf den Radarsensor zeigt. Damit sind zusätzlich die ungünstigsten Randbedingungen, die sich bei wechselnden Windrichtungen 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, 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 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 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 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.

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 mitberücksichtigt wurden.

Anmerkung:

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.

6 Technische Analyse

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

Abbildung 1 gibt die untersuchten Kubaturen der Naben- und Generatorbauformen der geplanten Dimensionen wieder. Die Maximalabmessungen der nachgebildeten Generatorgondeln sowie die Durchmesser des jeweiligen oberen Turmanschlusses sind angegeben.

Abbildung 2 zeigt eine Luftaufnahme der berücksichtigten geplanten WEAs im Windpark Grönebach-Hillekopf sowie die Vorbelastung bezüglich der Radaranlage Erndtebrück.

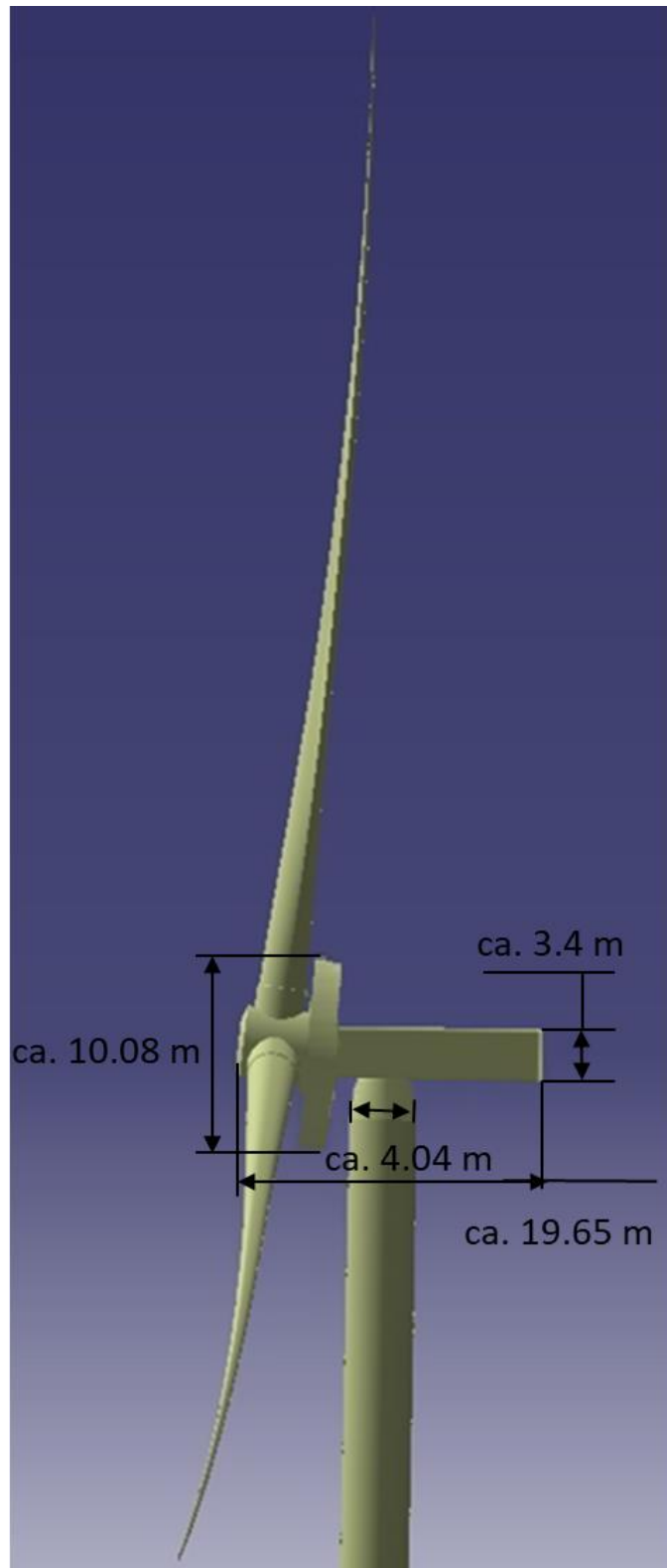


Abbildung 1: Schematische Objektgeometrie für die geplante WEA-Bauform Enercon E-175 mit ca. 175 m Rotor

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 Gebrauchsmustereintragung vorbehalten. Quellenangabe: Alle genutzten Darstellungen sind durch Airbus Defence and Space, bzw. den Bearbeiter erzeugt worden. Die Signatur des Gutachtens kann mit dem [digiSeal® reader](#) von secrypt geprüft werden.

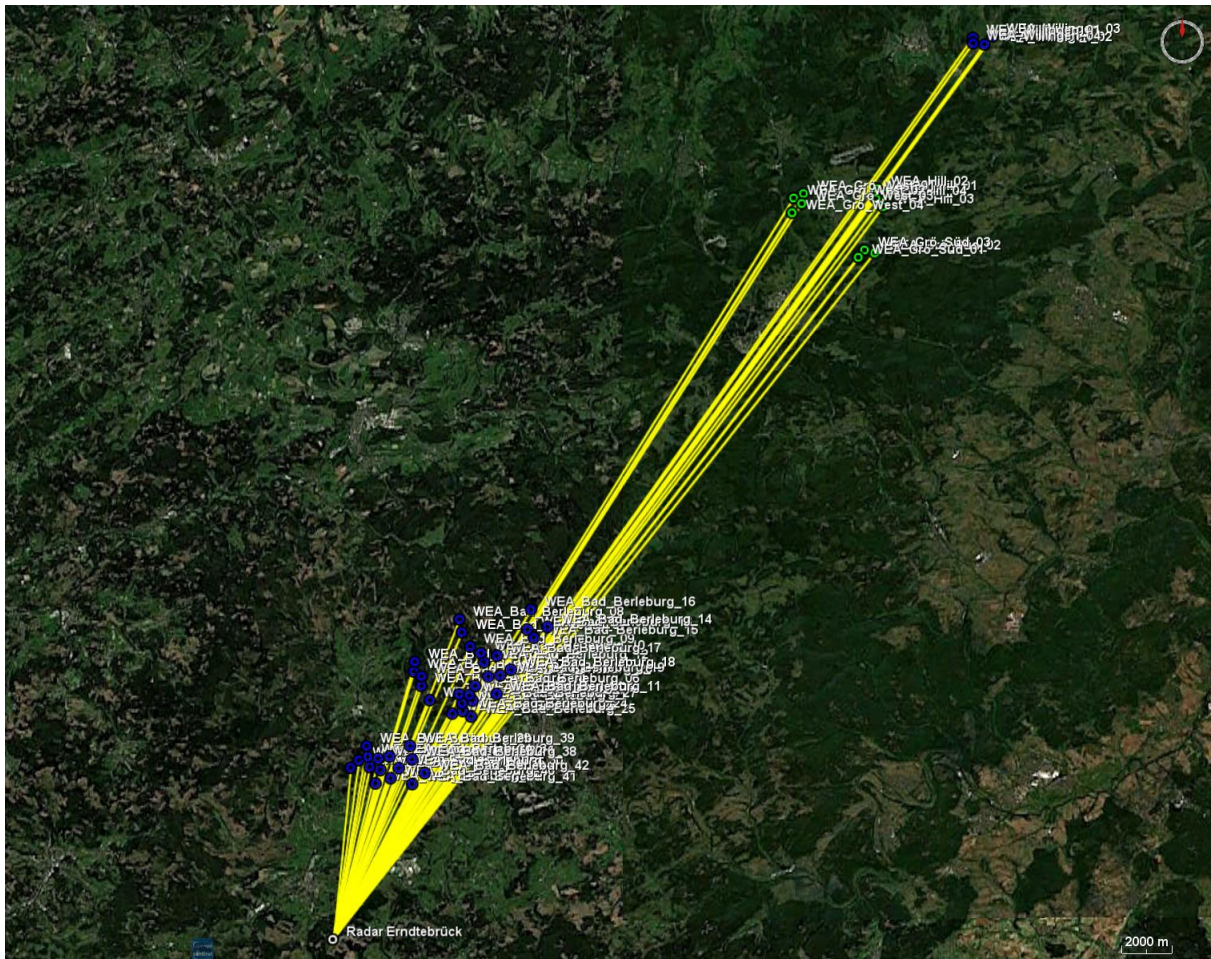


Abbildung 2: Luftaufnahme des Windparks Grönebach-Hillekopf mit den geplanten Windenergieanlagen (grün), sowie der berücksichtigten Vorbelastung (blau). Die Einstrahlungsrichtungen bzgl. der Radaranlage Erndtebrück sind gelb dargestellt. Copernicus Sentinel data [2025].

6.1 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 dreidimensionalen Raum ermittelt.

Nachstehende Abbildung 3 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 der Abbildung 5 sind Grundlage für die Untersuchungen.

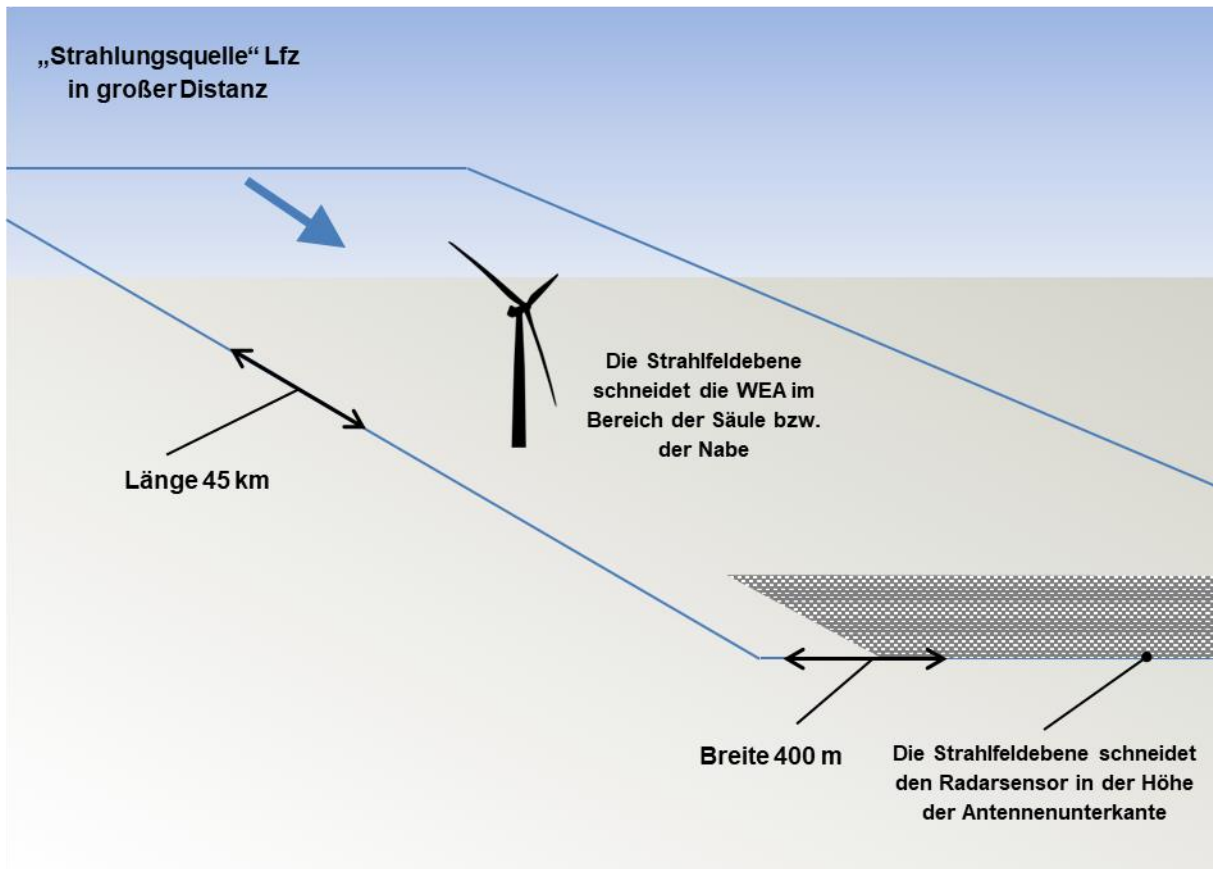


Abbildung 3: Anordnung von Radar und WEA sowie Lage des in dieser Untersuchung dargestellten Luftraums mit einer Ausdehnung von (hier) 45 km x 400 m Breite. Das Lfz wird in einer Distanz von bis zu 130 NM angenommen.
– schematische Darstellung –

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 45 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.

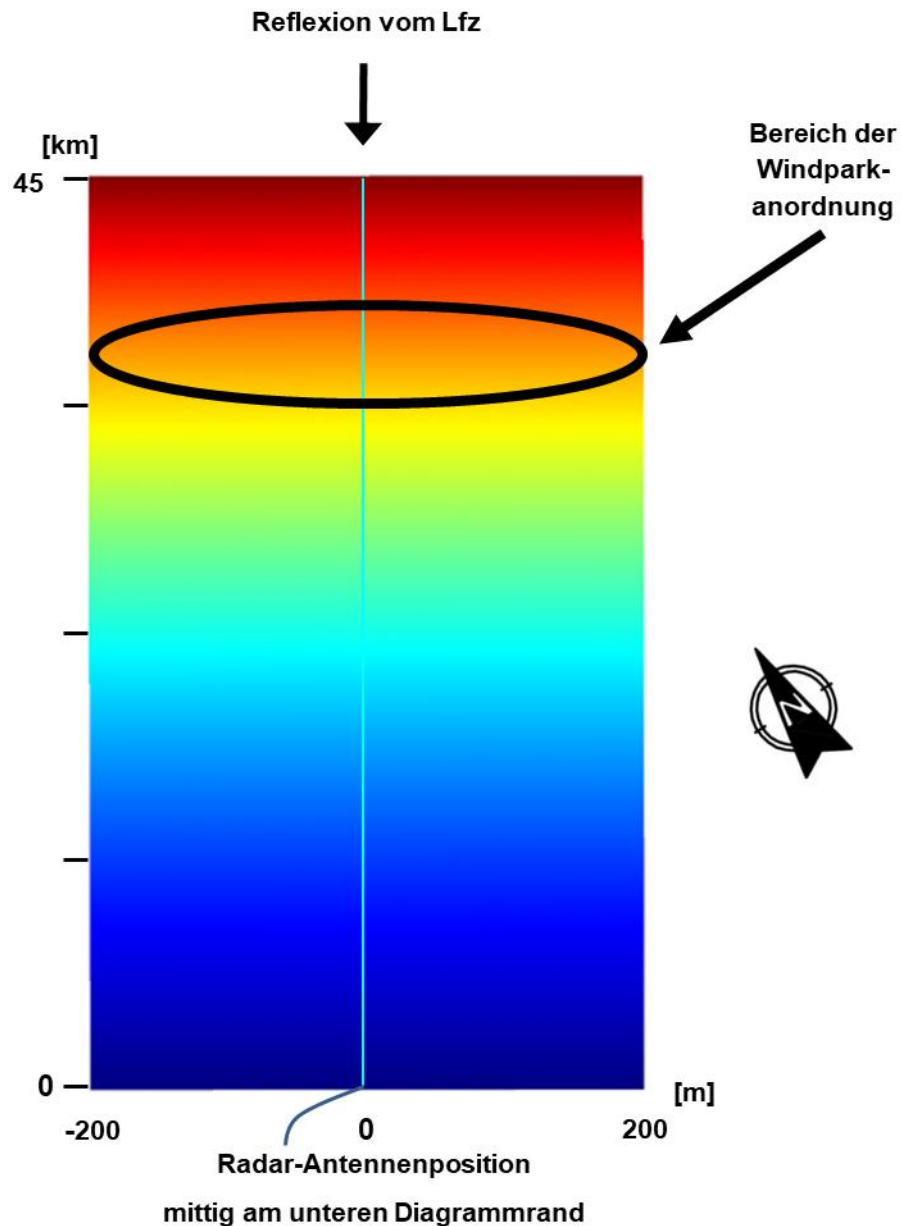


Abbildung 4: Feldgebiet von 45 km x 400 m in der Übersicht (schematische Übersicht für das Radar Erndtebrück)

Das Untersuchungsgebiet ist in der Übersicht dargestellt. Der Feldstärkeverlauf ist farblich in verschiedenen Abstufungen angegeben. Der Ort der Windparkplanung wurde in Abbildung 4 schematisch in der geplanten Distanz zu den Radarsystemen als schwarze Ellipse gekennzeichnet. Die Distanz der geplanten zukünftigen WEA-Anordnung zum Radar Erndtebrück liegt bei ca. 35,7 km.

Abbildung 5 gibt die Strahlungsfeldverteilungen als Referenz im Fall ohne Windenergieanlagen zum Vergleich für die Frequenz von ca. 3,10 GHz wieder. Die Werte sind normiert und dienen einer vergleichenden Betrachtung am Ort der Empfangsantenne als Referenzwert.

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

-15,199 dBV/m (normierte Empfangsfeldstärke)

Lfz in großer Distanz

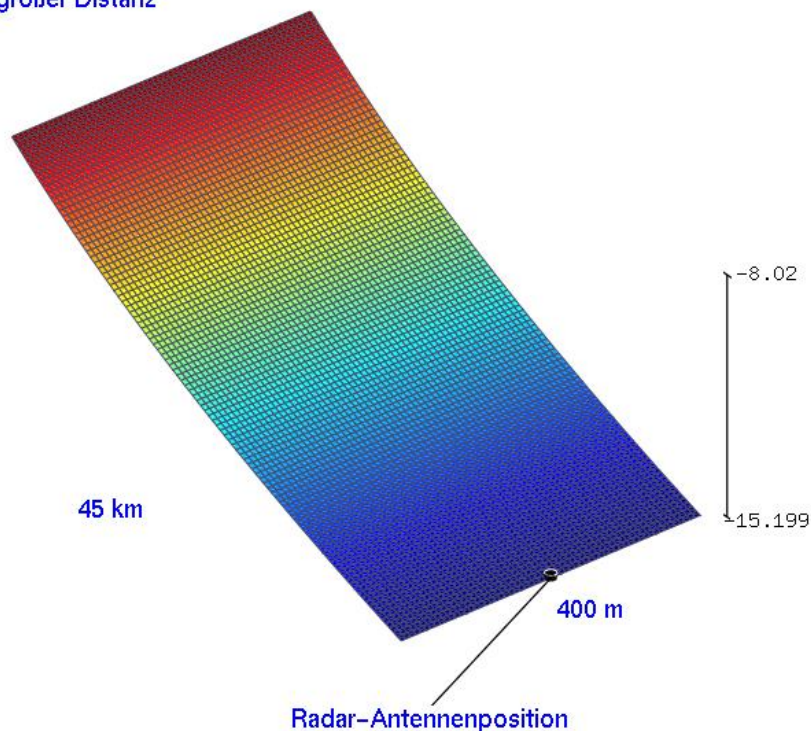


Abbildung 5: Das dargestellte Raumgebiet mit einer Elevation von $0,10^\circ$ ohne WEA-Einfluss in der Konturdarstellung für die Betriebsfrequenz des Radars Erndtebrück

Die nachfolgenden Untersuchungsergebnisse gemäß Kapitel 6.2 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.

6.2 Bewertung des Einflusses von Einzelanlagen und Gruppierungen

Die Nachbildung der geplanten Windenergieanlagen vom Typ Enercon E-175 erfolgt gemäß der Abbildung 1. Die Strahlungsfeldanalyse erfolgt für die nachfolgend angegebenen Anlagentypen und Standortkombinationen.

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.

Topologisch verschattete Anlagen wurden in den Analysen nicht berücksichtigt.

- **Anordnung A1** der geplanten Situation gemäß Tabelle 1. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 18,29 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

A1				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WEA_Bad_Berleburg_20	SG 6.6-170	165	12227,04	0
WEA_Bad_Berleburg_16	SG 6.6-170	165	15438,95	0,4115
WEA_Bad_Berleburg_25	Vestas V172-7.2 MW	164	10502,39	0,829
WEA_Grö_West_02	Enercon E-175	174,5	35007,62	0,0344
			18294	

Tabelle 1: Teilanordnung der geplanten Situation (A1)

- **Anordnung A2** der geplanten Situation gemäß Tabelle 2. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 25,36 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

A2				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WEA_Bad_Berleburg_25	Vestas V172-7.2 MW	164	10502,39	0
WEA_Grö_West_02	Enercon E-175	174,5	35007,62	0,0344
WEA_Bad_Berleburg_13	SG 6.6-170	165	14673,02	0,2639
WEA_Grö_West_01	Enercon E-175	174,5	35361,81	0,122
WEA_Grö_West_04	Enercon E-175	174,5	34476,97	0,0435
WEA_Bad_Berleburg_19	SG 6.6-170	165	12524,33	0,0684
WEA_Grö_West_03	Enercon E-175	174,5	34990,58	0,1446
			<u>25362,39</u>	

Tabelle 2: Teilanordnung der geplanten Situation (A2)

- **Anordnung A3** der geplanten Situation gemäß Tabelle 3. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 26,06 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

A3				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WEA_Grö_West_01	Enercon E-175	174,5	35361,81	0
WEA_Grö_West_04	Enercon E-175	174,5	34476,97	0,0435
WEA_Bad_Berleburg_19	SG 6.6-170	165	12524,33	0,0684
WEA_Grö_West_03	Enercon E-175	174,5	34990,58	0,1446
WEA_Bad_Berleburg_18	SG 6.6-170	165	12947,03	0,9259
			<u>26060,14</u>	

Tabelle 3: Teilanordnung der geplanten Situation (A3)

- **Anordnung A4** der geplanten Situation gemäß Tabelle 4. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 18,57 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

A4				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WEA_Grö_West_03	Enercon E-175	174,5	34990,58	0
WEA_Bad_Berleburg_18	SG 6.6-170	165	12947,03	0,9259
WEA_Bad_Berleburg_15	SG 6.6-170	165	14537,15	0,2258
WEA_Bad_Berleburg_11	SG 6.6-170	165	11823,18	0,064
			<u>18574,49</u>	

Tabelle 4: Teilanordnung der geplanten Situation (A4)

- **Anordnung A5** der geplanten Situation gemäß Tabelle 5. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 41,90 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

A5				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WEA_Willingen_01	Nordex Delta4000 N163/6.X	164	44352,61	0
WEA_Willingen_04	Nordex N117/3600	141	44174,73	0,1749
WEA_Hill_02	Enercon E-175	174,5	37171,36	0,4065
			<u>41899,57</u>	

Tabelle 5: Teilanordnung der geplanten Situation (A5)

- **Anordnung A6** der geplanten Situation gemäß Tabelle 6. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 39,55 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

A6				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WEA_Hill_02	Enercon E-175	174,5	37171,36	0
WEA_Willingen_02	Nordex N117/3600	141	44410,95	0,1124
WEA_Willingen_03	Nordex N117/3600	141	44870,3	0,0949
WEA_Hill_04	Enercon E-175	174,5	36846,79	0,0832
WEA_Hill_01	Enercon E-175	174,5	37253,75	0,3456
WEA_Hill_03	Enercon E-175	174,5	36762,32	0,3214
			<u>39552,58</u>	

Tabelle 6: Teilanordnung der geplanten Situation (A6)

- **Anordnung A7** der geplanten Situation gemäß Tabelle 7. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 35,87 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

A7				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WEA_Hill_01	Enercon E-175	174,5	37253,75	0
WEA_Hill_03	Enercon E-175	174,5	36762,32	0,3214
WEA_Grö_Süd_01	Enercon E-175	174,5	34536,59	0,702
WEA_Grö_Süd_03	Enercon E-175	174,5	34913,68	0,0281
			<u>35866,58</u>	

Tabelle 7: Teilanordnung der geplanten Situation (A7)

- **Anordnung A8** der geplanten Situation gemäß Tabelle 8. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 34,84 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

A8				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WEA_Grö_Süd_01	Enercon E-175	174,5	34536,59	0
WEA_Grö_Süd_03	Enercon E-175	174,5	34913,68	0,0281
WEA_Grö_Süd_02	Enercon E-175	174,5	35084,59	0,6478
			34844,95	

Tabelle 8: Teilanordnung der geplanten Situation (A8)

Abbildung 6 bis Abbildung 13 geben für die Betriebsfrequenz der militärischen Radaranlage Erndtebrück die Ergebnisse der **künftigen Situation** für die Anordnungen mit den geplanten Windenergieanlagen wieder.

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 1. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 18,29 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

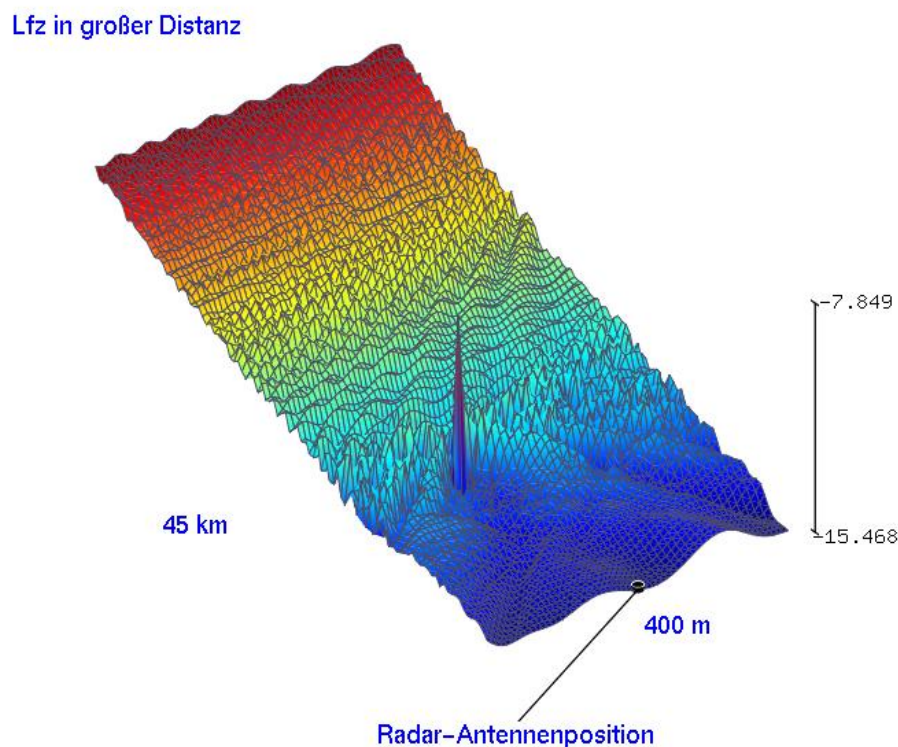


Abbildung 6: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Anordnung A1 im Einflussbereich der Radaranlage Erndtebrück

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 6 mit -15,468 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß den genannten Kriterien eine Reichweite von

96,95 %.

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

Anordnung A2 der geplanten Situation gemäß Tabelle 2. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 25,36 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

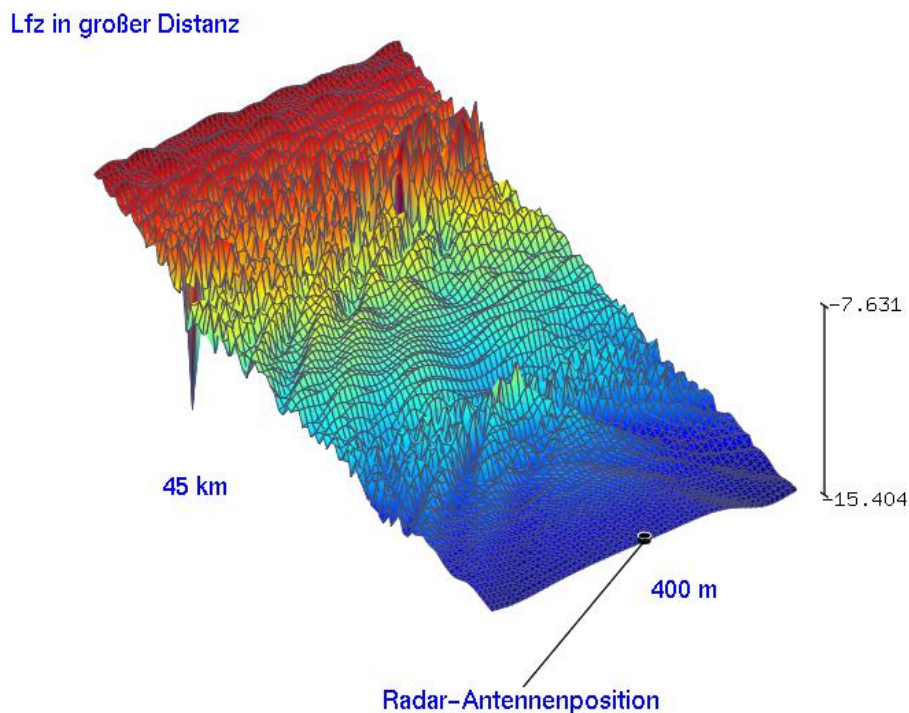


Abbildung 7: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Anordnung A2 im Einflussbereich der Radaranlage Erndtebrück

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 7 mit -15,404 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß den genannten Kriterien eine Reichweite von

97,67 %.

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

Anordnung A3 der geplanten Situation gemäß Tabelle 3. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 26,06 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

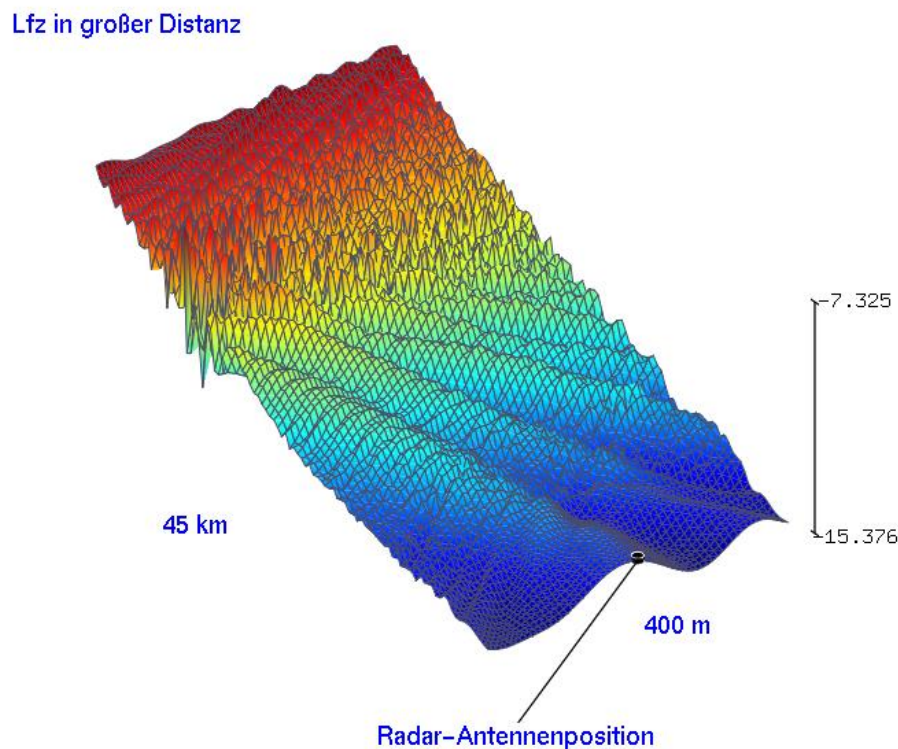


Abbildung 8: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Anordnung A3 im Einflussbereich der Radaranlage Erndtebrück

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 8 mit -15,376 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß den genannten Kriterien eine Reichweite von

97,98 %.

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

Anordnung A4 der geplanten Situation gemäß Tabelle 4. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 18,57 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

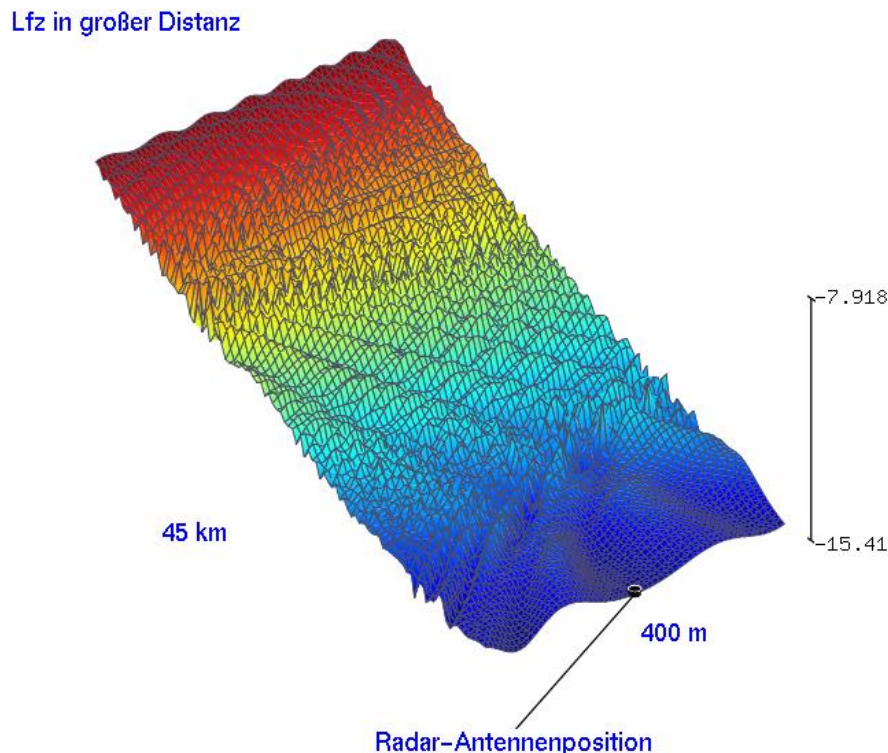


Abbildung 9: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Anordnung A4 im Einflussbereich der Radaranlage Erndtebrück

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 9 mit -15,410 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß den genannten Kriterien eine Reichweite von

97,60 %.

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

Anordnung A5 der geplanten Situation gemäß Tabelle 5. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 41,90 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

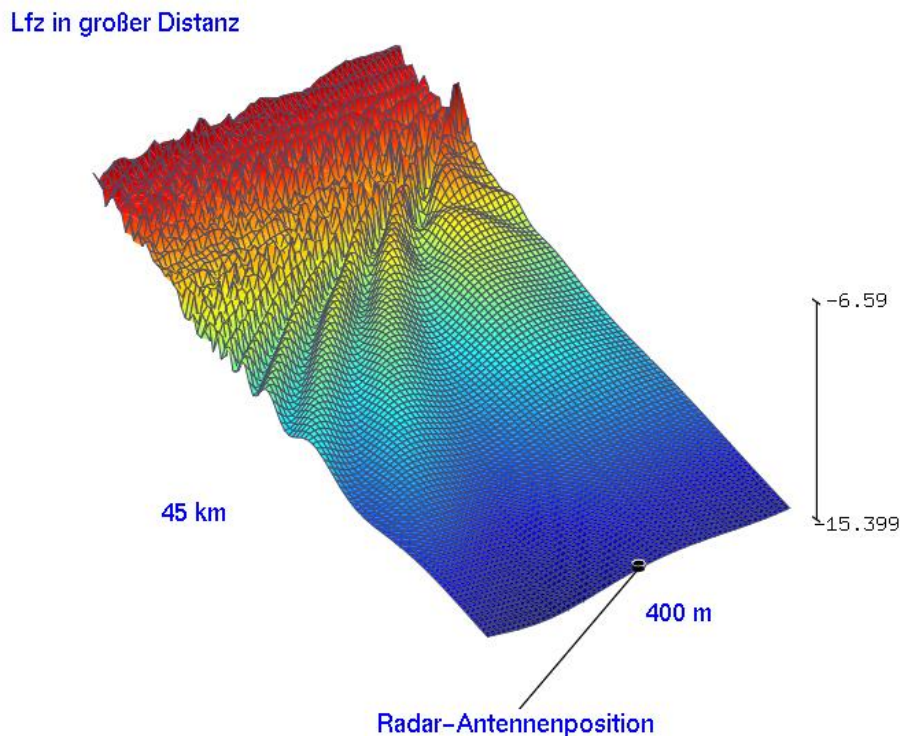


Abbildung 10: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Anordnung A5 im Einflussbereich der Radaranlage Erndtebrück

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 10 mit -15,399 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß den genannten Kriterien eine Reichweite von

97,72 %.

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

Anordnung A6 der geplanten Situation gemäß Tabelle 6. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 39,55 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

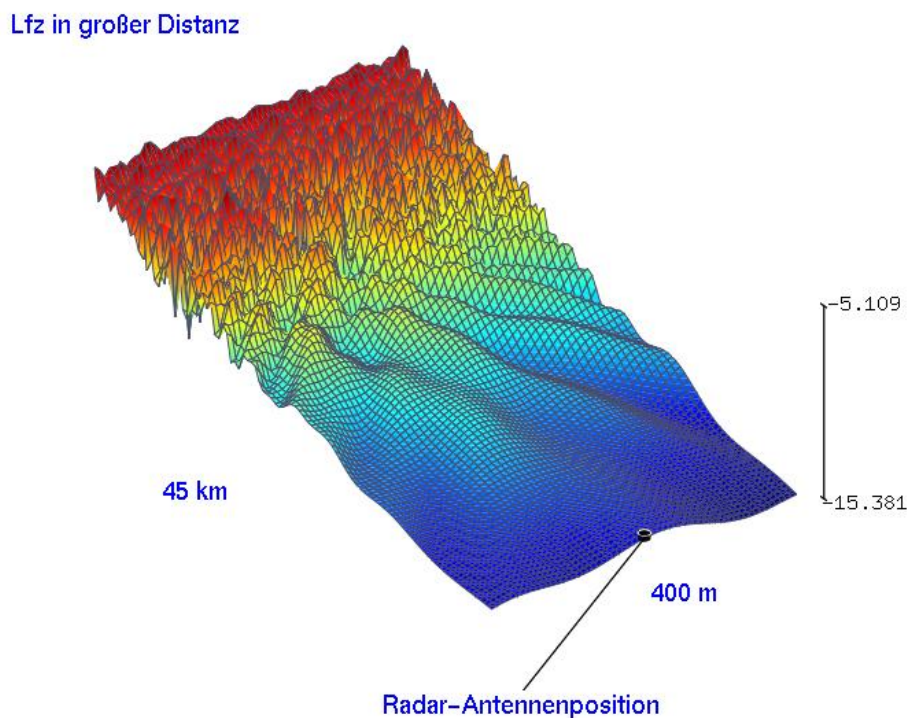


Abbildung 11: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Anordnung A6 im Einflussbereich der Radaranlage Erndtebrück

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 11 mit -15,381 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß den genannten Kriterien eine Reichweite von

97,93 %.

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

Anordnung A7 der geplanten Situation gemäß Tabelle 7. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 35,87 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

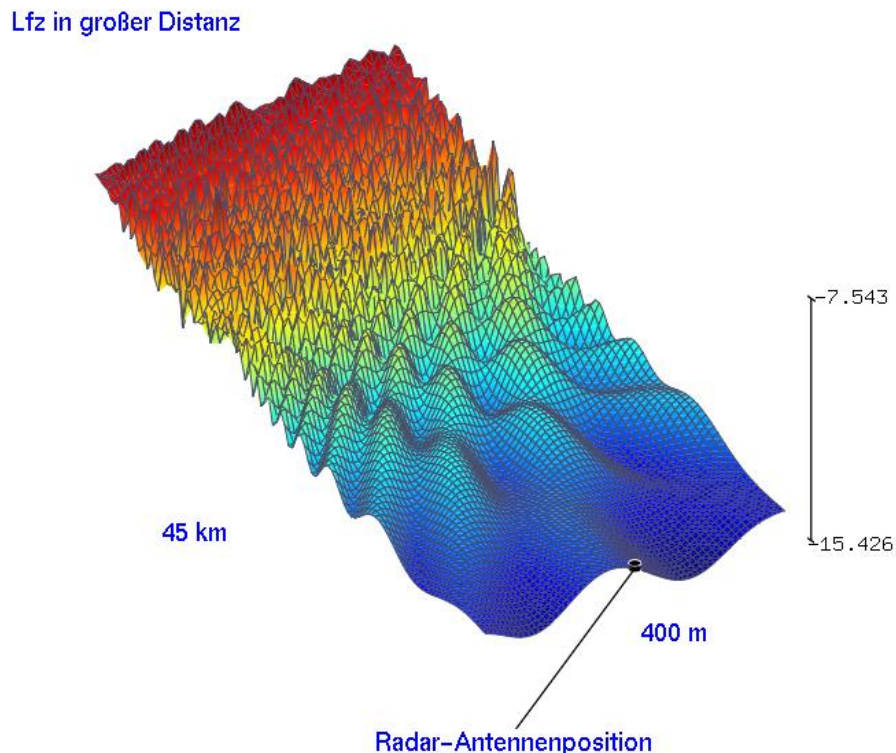


Abbildung 12: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Anordnung A7 im Einflussbereich der Radaranlage Erndtebrück

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 12 mit -15,426 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß den genannten Kriterien eine Reichweite von

97,42 %.

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

Anordnung A8 der geplanten Situation gemäß Tabelle 8. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz der Anordnung von ca. 34,84 km zur Radaranlage Erndtebrück durchgeführt.

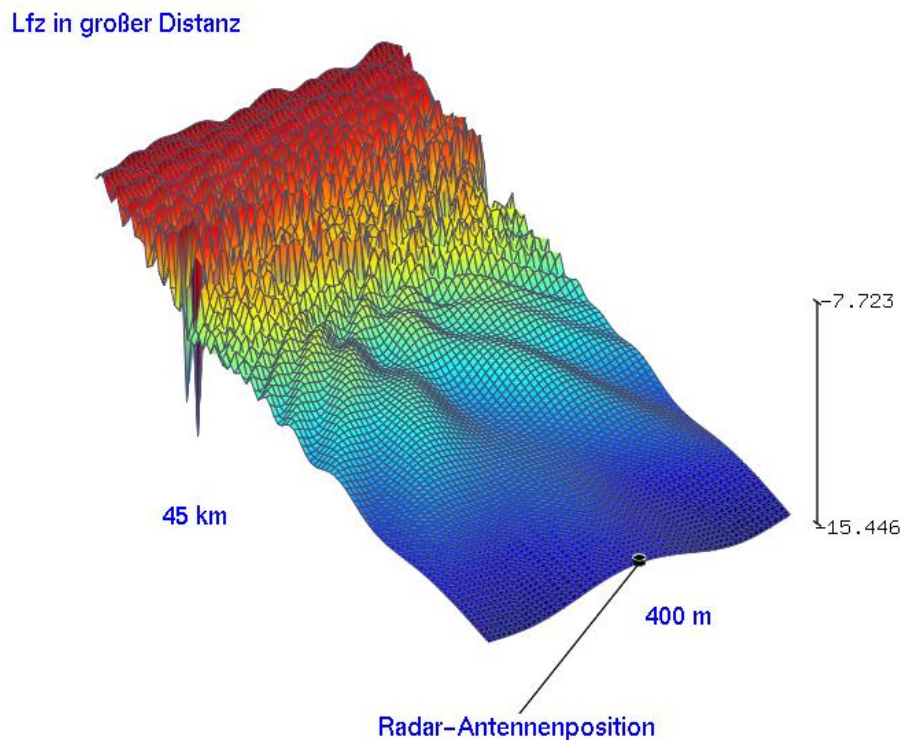


Abbildung 13: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Anordnung A8 im Einflussbereich der Radaranlage Erndtebrück

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 13 mit -15,446 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß den genannten Kriterien eine Reichweite von

97,20 %.

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

6.3 Bewertung des Gesamteinflusses des Windparks

In den Untersuchungen wurden die geplanten WEA in Grönebach-Hillekopf als künftige Situation unter Berücksichtigung der Vorbelastung analysiert.

Die Ergebnisse gemäß dem Kapitel 6.2 zeigen für die geplanten Windenergieanlagen für die untersuchten Anordnungen keine Verschattungerscheinungen, die das Reichweitenkriterium von 96,2 % verletzen.

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

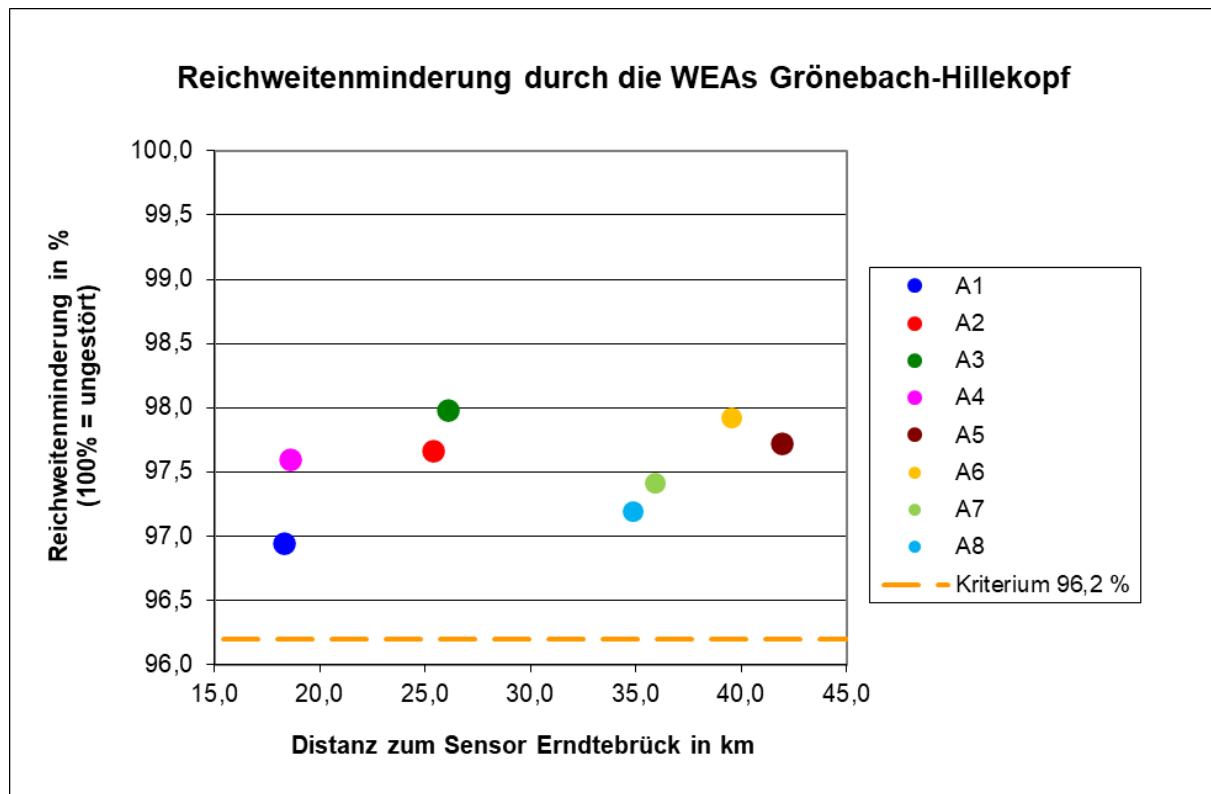


Abbildung 14: Übersicht über die zu erwartende Reichweitenreduktion bei den angegebenen WEA-Konstellationen

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.

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 Verschattungerscheinungen bzw. Reichweitenminderungen.

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

Abbildung 15 zeigt eine Übersicht für den Richtungsbereich der Planung. Hierbei ist die Perspektive der untersuchten Teilausschnitte des Windparks über Azimut und Elevation bzgl. der Gondelpositionen für das Radar Erndtebrück dargestellt. Es 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 15 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 Azimutauflösung des Radargerätes.

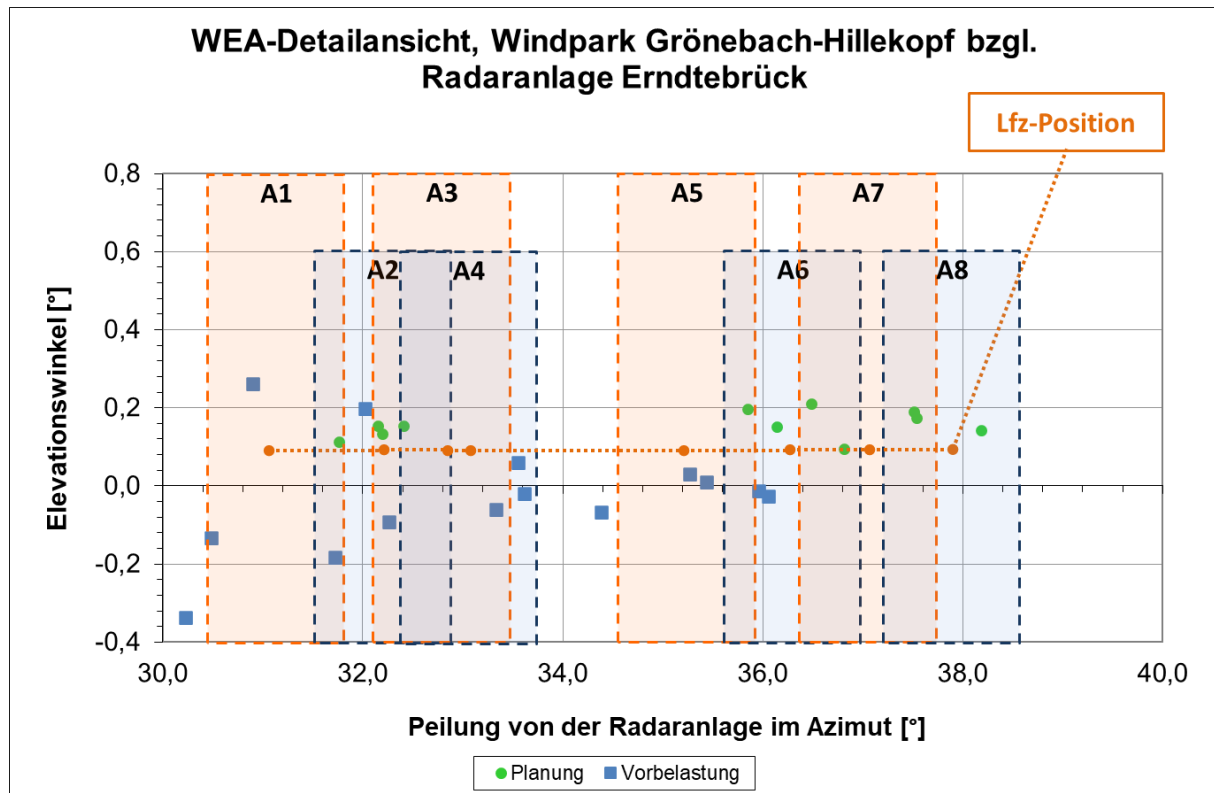


Abbildung 15: Perspektive zur Gondelanordnung gemäß Azimut und Elevation für die Position des Radars Erndtebrück. Die Bereiche der analysierten Teilanordnungen sind durch farbige Flächen gekennzeichnet. Die Richtung und Elevation des angenommenen Lfz ist dargestellt.

7 Gesamtbeurteilung/Zusammenfassung der Ergebnisse

Ergebnisse für die WP-Planung bzgl. des Radars Erndtebrück:

Um eine Situation sicherzustellen, die auch bei Errichtung der geplanten WEAs für die Radaranlage in Erndtebrück eine der bisherigen Betriebssituation gleichwertige Beeinflussung bzw. Radarreichweite schafft, ist die nachstehende WEA-Anordnung gemäß Abbildung 16 sowie Tabelle 9 zulässig:

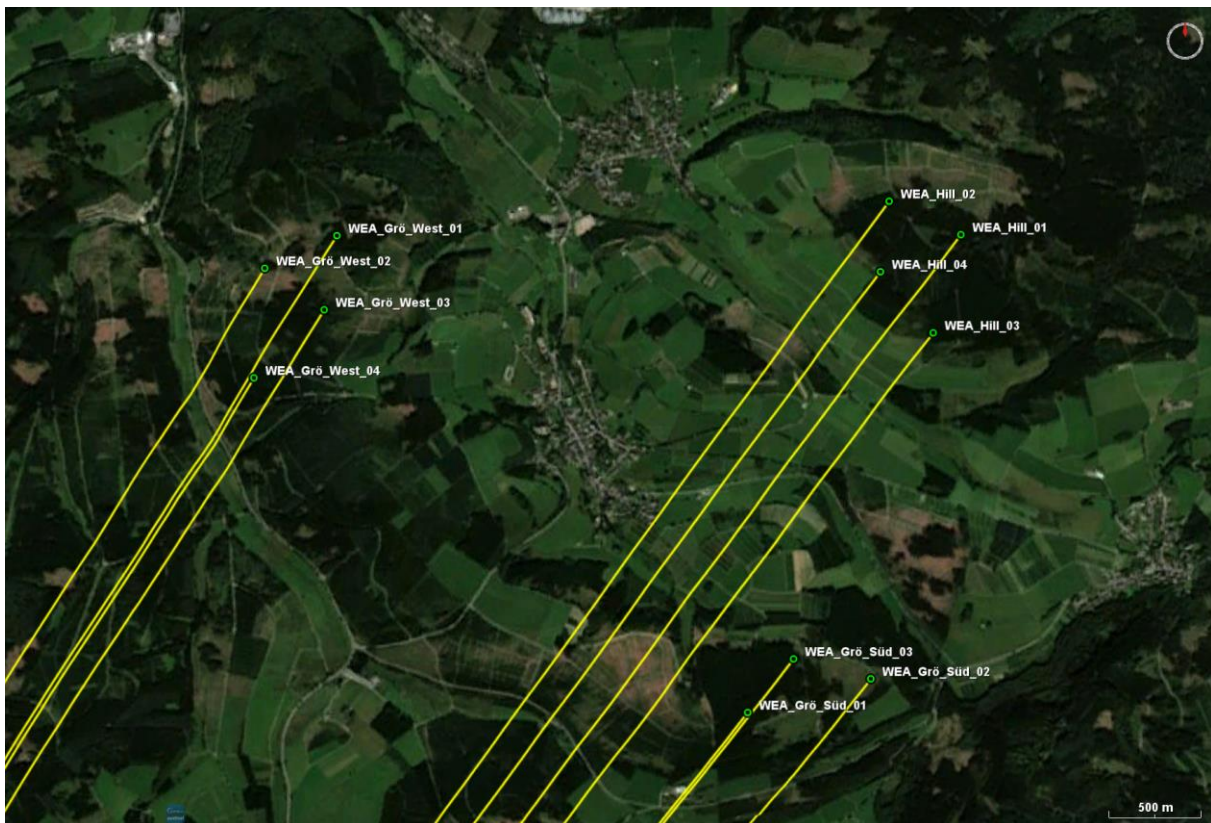


Abbildung 16: Übersicht über den Windpark Grönebach-Hillekopf mit den geplanten Windenergieanlagen (grün). Die Einstrahlungsrichtungen bzgl. der Radaranlage Erndtebrück sind gelb dargestellt. Copernicus Sentinel data [2025].

Standort	Anlage	WGS 84 Nord	WGS 84 Ost	Nabenhöhe [m]	Geländehöhe [m]	Elevation [°]	Distanz [m]	Winkel [°]
Planung								
WEA_Grö_West_01	Enercon E-175	51° 14' 20,50"	8° 32' 29,25"	174,5	700,15	0,1543	35361,81	32,1499
WEA_Grö_West_02	Enercon E-175	51° 14' 14,88"	8° 32' 9,19"	174,5	672,85	0,1136	35007,62	31,764
WEA_Grö_West_03	Enercon E-175	51° 14' 7,63"	8° 32' 25,82"	174,5	696,88	0,1532	34990,58	32,4064
WEA_Grö_West_04	Enercon E-175	51° 13' 55,86"	8° 32' 5,98"	174,5	681,35	0,1331	34476,97	32,1934
WEA_Grö_Süd_01	Enercon E-175	51° 12' 57,92"	8° 34' 22,75"	174,5	716,5	0,1908	34536,59	37,5103
WEA_Grö_Süd_02	Enercon E-175	51° 13' 3,68"	8° 34' 56,82"	174,5	691,2	0,1428	35084,59	38,1862
WEA_Grö_Süd_03	Enercon E-175	51° 13' 7,23"	8° 34' 35,34"	174,5	709	0,1739	34913,68	37,5384
WEA_Hill_01	Enercon E-175	51° 14' 20,47"	8° 35' 21,18"	174,5	750,65	0,2117	37253,75	36,4869
WEA_Hill_02	Enercon E-175	51° 14' 26,26"	8° 35' 1,52"	174,5	740,94	0,1978	37171,36	35,8508
WEA_Hill_03	Enercon E-175	51° 14' 3,72"	8° 35' 14,53"	174,5	671,1	0,0939	36762,32	36,8083
WEA_Hill_04	Enercon E-175	51° 14' 14,20"	8° 34' 59,43"	174,5	709	0,1521	36846,79	36,1413
Vorbelastung								
WEA_Willingen_01	Nordex Delta4000 N163/6.X	51° 17' 42,50"	8° 38' 21,03"	164	680	0,029	44352,61	35,2694
WEA_Willingen_02	Nordex N117/3600	51° 17' 33,84"	8° 38' 45,26"	141	669,52	-0,0146	44410,95	35,9632
WEA_Willingen_03	Nordex N117/3600	51° 17' 44,40"	8° 39' 2,37"	141	662,01	-0,0272	44870,3	36,0581
WEA_Willingen_04	Nordex N117/3600	51° 17' 35,28"	8° 38' 21,34"	141	686	0,0082	44174,73	35,4443
WEA_Bad_Berleburg_01	SG 6.6-170	51° 3' 30,76"	8° 20' 38,10"	165	569,88	0,1135	11045,9	27,1542
WEA_Bad_Berleburg_02	SG 6.6-170	51° 4' 0,37"	8° 19' 4,32"	165	601	0,2697	11212,72	16,6588
WEA_Bad_Berleburg_03	SG 6.6-170	51° 3' 54,05"	8° 19' 20,29"	165	559	0,0562	11120,58	18,4828
WEA_Bad_Berleburg_04	SG 6.6-170	51° 3' 41,77"	8° 19' 19,80"	165	536,27	-0,0604	10758,41	19,0765
WEA_Bad_Berleburg_05	SG 6.6-170	51° 3' 29,87"	8° 20' 59,32"	165	558	0,05	11216,84	29,0968
WEA_Bad_Berleburg_06	SG 6.6-170	51° 3' 41,47"	8° 21' 10,98"	165	564,19	0,0758	11640,65	29,2121
WEA_Bad_Berleburg_07	SG 6.6-170	51° 4' 51,54"	8° 20' 44,10"	165	639	0,376	13359,64	22,7001
WEA_Bad_Berleburg_08	SG 6.6-170	51° 5' 8,56"	8° 20' 39,18"	165	655	0,4271	13810,95	21,4894
WEA_Bad_Berleburg_09	SG 6.6-170	51° 4' 33,11"	8° 21' 1,16"	165	652,22	0,4483	12973,69	25,0265
WEA_Bad_Berleburg_10	SG 6.6-170	51° 4' 24,55"	8° 22' 22,61"	165	604,67	0,2396	12920,54	27,201
WEA_Bad_Berleburg_11	SG 6.6-170	51° 3' 31,25"	8° 21' 55,40"	165	545	-0,0196	11823,18	33,6221
WEA_Bad_Berleburg_12	SG 6.6-170	51° 4' 12,60"	8° 21' 29,15"	165	577	0,1212	12653,89	28,4791
WEA_Bad_Berleburg_13	SG 6.6-170	51° 4' 55,15"	8° 22' 59,01"	165	603,69	0,1961	14673,02	32,0279
WEA_Bad_Berleburg_14	SG 6.6-170	51° 4' 58,43"	8° 23' 40,24"	165	536,58	-0,0672	15198,49	34,3874
WEA_Bad_Berleburg_15	SG 6.6-170	51° 4' 44,60"	8° 23' 12,05"	165	568	0,0581	14537,15	33,5581
WEA_Bad_Berleburg_16	SG 6.6-170	51° 5' 21,28"	8° 23' 6,63"	165	625	0,2604	15438,95	30,9006
WEA_Bad_Berleburg_17	SG 6.6-170	51° 4' 21,05"	8° 21' 55,85"	165	564	0,0568	13135,82	29,9273
WEA_Bad_Berleburg_18	SG 6.6-170	51° 4' 2,68"	8° 22' 24,62"	165	537	-0,0605	12947,03	33,3323
WEA_Bad_Berleburg_19	SG 6.6-170	51° 3' 55,37"	8° 22' 2,57"	165	529,51	-0,0939	12524,33	32,2618
WEA_Bad_Berleburg_20	SG 6.6-170	51° 3' 53,63"	8° 21' 37,83"	165	521	-0,1341	12227,04	30,4891
WEA_Bad_Berleburg_21	SG 6.6-170	51° 3' 19,07"	8° 20' 44,43"	165	565,74	0,0961	10784,61	28,614
WEA_Bad_Berleburg_22	SG 6.6-170	51° 3' 23,03"	8° 19' 36,98"	165	555	0,0439	10332,91	21,8822
WEA_Bad_Berleburg_23	SG 6.6-170	51° 4' 13,10"	8° 19' 6,45"	165	620,28	0,3534	11601,55	16,2968
WEA_Bad_Berleburg_24	Vestas V172-7.2 MW	51° 3' 8,93"	8° 20' 45,90"	164	585,98	0,205	10524,77	29,5699
WEA_Bad_Berleburg_25	Vestas V172-7.2 MW	51° 3' 1,76"	8° 21' 2,80"	164	514,41	-0,1849	10502,39	31,7296
WEA_Bad_Berleburg_26	Vestas V150-6.0 MW	51° 3' 5,70"	8° 20' 23,65"	148	572	0,045	10228,93	27,7359
WEA_Bad_Berleburg_27	V136-4.2 MW	51° 3' 22,43"	8° 21' 5,66"	112	535,61	-0,3383	11078,46	30,2337
WEA_Bad_Berleburg_28	SG 6.6-170	51° 2' 4,79"	8° 17' 11,17"	165	545	0,0087	7240,49	8,0327
WEA_Bad_Berleburg_29	SG 6.6-170	51° 2' 23,37"	8° 17' 27,16"	165	577,04	0,2377	7855,91	9,6969
WEA_Bad_Berleburg_30	SG 6.6-170	51° 1' 54,93"	8° 18' 34,08"	165	619,95	0,592	7350,91	20,9426
WEA_Bad_Berleburg_31	SG 6.6-170	51° 2' 9,38"	8° 17' 29,84"	165	578	0,2613	7439,75	10,6545
WEA_Bad_Berleburg_32	SG 6.6-170	51° 2' 7,12"	8° 17' 51,59"	165	597	0,4062	7461,73	13,954
WEA_Bad_Berleburg_33	SG 6.6-170	51° 1' 56,10"	8° 17' 33,78"	165	555,69	0,0971	7052,21	11,8865
WEA_Bad_Berleburg_34	SG 6.6-170	51° 2' 10,13"	8° 18' 14,90"	165	580,56	0,2709	7673,33	17,0794
WEA_Bad_Berleburg_35	SG 6.6-170	51° 1' 52,45"	8° 17' 56,33"	165	589	0,368	7046,93	15,5732
WEA_Bad_Berleburg_36	SG 6.6-170	51° 1' 34,97"	8° 17' 45,91"	165	589,47	0,4088	6472,33	15,1279
WEA_Bad_Berleburg_37	SG 6.6-170	51° 1' 55,18"	8° 16' 54,52"	165	549,32	0,0473	6906,67	5,713
WEA_Bad_Berleburg_38	SG 6.6-170	51° 2' 6,36"	8° 19' 1,48"	165	616,69	0,525	7880,62	23,6487
WEA_Bad_Berleburg_39	SG 6.6-170	51° 2' 23,64"	8° 18' 56,86"	165	531	-0,0955	8338,78	21,6083
WEA_Bad_Berleburg_40	Vestas V162-6.2MW	51° 1' 41,86"	8° 18' 17,33"	169	605	0,5464	6858,8	19,6044
WEA_Bad_Berleburg_41	Vestas V162-6.2MW	51° 1' 33,85"	8° 19' 1,34"	169	553,51	0,1137	6971,13	26,9471
WEA_Bad_Berleburg_42	Vestas V162-6.2MW	51° 1' 48,00"	8° 19' 26,70"	169	529	-0,0846	7588,83	28,7744

Tabelle 9: Koordinatenübersicht über die analysierte radartechnisch zulässige Aufstellung mit den Planungsanlagen im Windpark Grönebach-Hillekopf (grün), sowie der berücksichtigten Vorbelastung (blau)

Abbildung 16 zeigt eine Luftbildaufnahme des Windparkgebietes als Detailansicht der grün gekennzeichneten geplanten Windenergieanlagen im Windpark Grönebach-Hillekopf. Die Koordinaten aller im Gutachten berücksichtigten WEA, sowie die jeweiligen

Entfernungen, die Elevation und Azimutwinkelbezüge zum Radar Erndtebrück sind der Tabelle 9 zu entnehmen.

Die zu erwartenden Reichweitenminderungen durch die grün gekennzeichneten geplanten Windenergieanlagen in Verbindung mit der berücksichtigten Vorbelastung (blau) erfüllen das Kriterium von 96,2 %.

Bei der Realisierung der Planungsstandorte sind Ortsabweichungen von bis zu 10 m in allen Richtungen gegenüber den Koordinaten gemäß Tabelle 9 ohne Einfluss auf die Ergebnisse zulässig.

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

Die Streufeldeinflüsse, bedingt durch die zukünftige Windparksituation mit den geplanten WEA, weisen eine geringe Intensitätszunahme auf, infolge derer jedoch keine feststellbaren, verschattungswirksamen Auswirkungen auf das Radarsystem zu erwarten sind. Zusätzlicher Handlungsbedarf für die zulässigen geplanten Windenergieanlagen besteht bei den festgestellten Einflüssen nicht.

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 theoretischen Analysen sind vom Sachverständigen persönlich durchgeführt worden. Der Schwerpunkt der Unterstützung durch M.Sc. Jannis Müller 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.

Dipl.-Ing. (FH) Michael Gottschalk