

Signaturtechnisches Gutachten  
zur Planung von Windenergieanlagen  
im Gebiet Hiddels  
im Einflussbereich der militärischen  
Radaranlagen Brockzetel und Wittmund

29.10.2020

Gutachten Nr.: TEYYX-334/20

Auftraggeber:

Projektierungsgesellschaft für  
regenerative Energiesysteme mbH  
Alexanderstr. 404 b  
26127 Oldenburg

Auftragnehmer:

Airbus Defence and Space GmbH  
Airbus-Allee 1  
28199 Bremen

Durchgeführt von:

Dipl.-Ing. (FH) Michael Gottschalk

*von der Handelskammer Bremen öffentlich be-  
stellter und vereidigter Sachverständiger für  
Hochfrequenz- und Signaturtechnik, insbesonde-  
re Störeinflussanalysen für Windenergieanlagen*

unter Beteiligung von:

Dipl.-Ing. (FH) T.Bischoff; TEATE

Tel.: 0421 – 538 7338

Fax: 0421 – 538 3481

E-Mail: michael.gottschalk@airbus.com

Ausfertigung Nr.: - pdf -

Das Gutachten besteht aus den Seiten 1 bis 117.

## Inhaltsverzeichnis:

1	Vorbemerkung zum Gutachten .....	4
2	Zielsetzung (LV-Radar Brockzetel) .....	6
3	Aufgabenbeschreibung (LV-Radar Brockzetel).....	9
4	Referenzuntersuchung (LV-Radar Brockzetel) .....	10
5	Untersuchungsverfahren (LV-Radar Brockzetel) .....	14
6	Technische Analyse (LV-Radar Brockzetel) .....	17
6.1	Radartechnische Randbedingungen.....	21
6.2	Bewertung des Einflusses von Einzelanlagen und Gruppierungen.....	25
6.3	Bewertung des Gesamteinflusses des Windparks .....	32
7	Zielsetzung (Radar Wittmund) .....	36
8	Vorbemerkung zur Wechselwirkung zwischen WEA und Radaranlagen der militärischen Flugsicherung (Radar Wittmund) .....	40
9	Aufgabenbeschreibung (Radar Wittmund).....	45
10	Untersuchungsverfahren (Radar Wittmund) .....	48
10.1	Bewertungsmethodik: .....	48
10.2	Bewertungsprozedur:.....	50
11	Radarquerschnittanalyse (Radar Wittmund).....	52
11.1	Ermittlung des RQS der WEA.....	54
12	Bewertung des Gesamteinflusses der WEA-Gruppe bzgl. „Störzellen“ (Radar Wittmund) .....	59
13	DCM-Störzellenbewertung (Radar Wittmund).....	63
13.1	Betrachtung der Windrichtung I (Bereich um 308°).....	64
13.1.1	Situation „Bestand“.....	64
13.1.2	Situation „Planung“.....	67

13.1.3	Situation „Abschaltung“ .....	70
13.1.4	Zusammenfassende Beurteilung der verschiedenen Überflugs- Szenarien: .....	73
13.2	Betrachtung der Windrichtung II (Bereich um 268°).....	79
13.2.1	Situation „Bestand“ .....	79
13.2.2	Situation „Planung“ .....	82
13.2.3	Situation „Abschaltung“ .....	85
13.2.4	Situation „Steuerfkt. opt“ .....	88
13.2.5	Zusammenfassende Beurteilung der verschiedenen Überflugs- Szenarien: .....	91
14	CFAR-Algorithmus / „Schwellwert-Anhebung“ (Radar Wittmund).....	97
15	Gesamtbeurteilung/Zusammenfassung der Ergebnisse .....	100
Anhang A: Abkürzungen und Begriffe .....		111
Anhang B: Informativ Darstellung der Planung bei Bewertung mit der Software, die von der Bundeswehr verwendet wird .....		113

## **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 die 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 dem Luftfahrtamt der Bundeswehr als „Betreiber“ der FS-Radaranlage auf der Liegenschaft in Wittmund und der Luftwaffe als Betreiber der Radaranlage in Brockzetel.

Als Bezugsradarsystem für Wittmund wird das vorhandene ASR-S herangezogen. Eine Bewertung der Radaranlage erfolgt nicht. Die angewandten Kriterien setzen voraus, dass eine transpondergestützte Filterung von Windenergieanlagen zur Unterscheidung von Flugzielen durch den Radarsensor – wie es bei digitalen Radarsystemen zur Flugsicherung möglich ist – nicht erfolgt und sind damit auf alle Radarsysteme dieses Typs oder vergleichbarer Systeme anwendbar.

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 radar-technischen Problematik, die Gegenstand des Gutachtens ist.

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

Die technische Bewertung für das Flugsicherungsradar (FS-Radar) Wittmund erfolgt gemäß Kapitel 7 bis 14.

Die Gesamtbeurteilung der einzelnen Ergebnisse zum LV-Radar Brockzetel und zum FS-Radar Wittmund ist im Kapitel 15 dargestellt.

## **2 Zielsetzung (LV-Radar Brockzetel)**

Die Analyse eines möglichen Störpotentials gegenüber dem Luftverteidigungsradarsystem in Brockzetel erfolgt für fünf geplante Windenergieanlagen unter Berücksichtigung eines Rückbaus von 11 Windenergieanlagen, sowie der Vorbelastung aus 22 Windenergieanlagen. Die geplanten Windenergieanlagen im Windpark Hiddels befinden sich östlich des Radarstandortes Brockzetel in einer Entfernung von ca. 24,8 km. Im Rahmen der aktuellen Planung zu diesem Projekt erfolgt eine Bewertung anhand der geplanten sowie vorhandenen WEAs im Hinblick auf die Störfreiheit gemäß den Forderungen zur Vermeidung von radarwirksamen Verschattungsercheinungen, die im Schwerpunkt für 3-D-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 Brockzetel – die einer Sicherheitseinstufung unterliegen – zugrunde gelegt. Eine ausführliche Beschreibung der technischen Betriebsparameter und Aufgabenstellungen des Systems erfolgt aus diesem Grund nicht.

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

- Messtechnisch feststellbare Radarverschattungen durch die geplanten WEA
- Gerichtete Reflexionen
- Streufelderscheinungen, insbesondere infolge von Wechselwirkungen zwischen benachbarten Windenergieanlagen
- Bewertung der Streufeldintensität für einzelne WEAs als auch für mehrere WEAs unter Berücksichtigung deren Wechselwirkung

- Messtechnisch feststellbare Radarverschattungen durch die geplanten WEA im Falle der notwendigen Berücksichtigung vorhandener räumlich vor- oder nachgelagerter WEA im Hinblick auf 3-D-Radarsysteme.
- Konkrete Parameter des LV-Radarsystems: Antennenposition, Antennenhöhe, Azimutauflösung, Betriebsfrequenzbereich
- Anforderungen der DFS (Deutsche Flugsicherung) sowie der Bundeswehr zur Vermeidung radarwirksamer Verschattungen bei Primärradaren

Berücksichtigt sind weiter die Referenzuntersuchungen gemäß Kapitel 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 aufgrund von Feldvermessungsberichten zu allen stationären LV-Radarstandorten der Bundeswehr. Eine Beurteilung, ob diese Einflüsse zu betrieblich relevanten Störungen der Radarortungsanlage führen, erfolgt im Rahmen dieser Untersuchung nicht, da hierzu u. a. eine sehr konkrete Bewertung der Aufgaben des Radarortungssystems erforderlich ist.

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

Potentiell störrelevant sind im Standortbereich des geplanten Windparks neben der Säulen- und der Nabenkonstruktion die Rotorblätter. Radarwirksame Verschattungen können infolge zu geringer Distanzen zum Radaranlagenstandort vorliegen. Streufel-

der und gerichtete Reflexionen durch metallische Blitzschutzstrukturen können eine unzuverlässige bzw. ungenaue Zielpositionserkennung bewirken.

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

Für den Windpark Hiddels sind fünf Windenergieanlagen vom Typ Vestas V150 mit 125 m Nabenhöhe in Planung, bei gleichzeitigem Rückbau von 11 Windenergieanlagen. 22 Windenergieanlagen unterschiedlichen Typs im Richtungsbezug werden als Vorbelastung 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.

### **3 Aufgabenbeschreibung (LV-Radar Brockzetel)**

Östlich des Radarstandortes Brockzetel ist in ca. 24,8 km Entfernung die Errichtung von fünf Windenergieanlagen vom Typ Vestas V150 mit 125 m Nabenhöhe in Planung. 22 Windenergieanlagen unterschiedlichen Typs im Richtungsbezug werden als Vorbelastung berücksichtigt.

#### Geplante Anlagen:

Der geplante Anlagentyp Vestas V150 hat eine horizontale Ausdehnung der Naben- und Generator konstruktion von maximal ca. 20,9 m. Die Höhe kann mit maximal 4,5 m angegeben werden. Der Querschnitt der Standsäule als Stahlsäule oder Stahlbetonsäule am Anschluss zur Gondel ist mit ca. 3,3 m angegeben. Der Rotordurchmesser beträgt ca. 150 m. Die ermittelten Ergebnisse in diesem Gutachten behalten auch bei einem ggf. kleineren Rotordurchmesser ihre Gültigkeit ohne Einschränkungen.

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

Ziel dieser Untersuchung ist es, unter den Kriterien, die in den nachstehenden Kapiteln genannt sind, eine Aussage über die durch die geplanten WEAs erzeugten und zu erwartenden radarverschattungswirksamen Störeinflüsse und daraus folgenden Reichweitenminderungen gegenüber dem LV-Radar Brockzetel zu erarbeiten und – soweit erforderlich – Maßnahmen zu deren Beseitigung und deren Wirksamkeit aufzuzeigen.

#### **4 Referenzuntersuchung (LV-Radar Brockzetel)**

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 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) Besprechung und Vortrag bei „Eurocontrol / Wind energy task group“ vom 01.03.2006 „Potential effects of wind turbines and justifiable 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 Erfassung von Flugzielen am Beispiel einer 3-D-Radaranlage zur Luftverteidigung aus 2011
- 22) 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.
- 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 Bestandsparts, werden daher nicht explizit aufgeführt und dienen der Verifikation der Ergebnisse der genannten Grundlagenuntersuchungen.

## **5 Untersuchungsverfahren (LV-Radar Brockzetel)**

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

Bei den Untersuchungen der Einflüsse auf die Reichweite des Radarsystems, die radarwirksamen Abschattungswirkungen, sowie der Wechselwirkungen der Windenergieanlagen untereinander, wurden die Feldberechnungen bei jeder einzelnen Konfiguration einer Windenergieanlage oder einer Gruppe von Windenergieanlagen für verschiedene Raumgebiete sowie unterschiedliche Höhen durchgeführt. In der vorliegenden Untersuchung wurde der Schwerpunkt auf einen sehr niedrigen Elevationswinkel (Höhenwinkel) von  $+0,2^\circ \dots +0,22^\circ$  gelegt. Die Ergebnisse der Feldverteilung bzw. der Feldintensitäten liegen somit im 3-dimensionalen Raum vor.

Die Objektstrukturen der untersuchten Bauwerke, wie WEA, Strommasten oder anderen Hochbauten werden dabei in der Gesamtheit zusammen mit ggf. vorhandenen Geländestrukturen in diesem Bereich erfasst. Die Darstellung der Ergebnisse in den Abbildungen beschränkt sich im vorliegenden Gutachten auf die 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 ergeben können, berücksichtigt.

Das elektromagnetische Strahlungsfeld wird im gesamten Entfernungs- und Raumbereich zwischen dem Lfz und der Radarortungsanlage berechnet. Für jede einzelne Analyse wird auf dieser Grundlage die Intensitätsverteilung des Feldes in einem

400 m breiten und einem 30 km langen Feldgebiet – ausgehend von der Radarortungsanlage – dargestellt. Dieses Feldgebiet stellt somit den letzten Streckenabschnitt der vom Lfz reflektierten Radarwelle dar. In den Abbildungen sind somit die Feldstärkeverteilungen der letzten 30 km mit der Radarortungsanlage als Zielpunkt angegeben.

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

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

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

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

Für die aktuelle Untersuchung zu diesem Projekt werden die Distanzen zum Radar und die Anordnungen der Windenergieanlagen mittels einer präzisen Berechnungsmethodik bestimmt, welches die Geodaten 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 mit berücksichtigt.

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

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

## 6 Technische Analyse (LV-Radar Brockzetel)

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

- **Anordnung A1** der geplanten Situation gemäß Tabelle 1. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 24,37 km zur Radaranlage Brockzetel durchgeführt.

<b>A1</b>				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WEA 01	V150-5.6-5.600	125	24458,97	0
WEA 02	V150-5.6-5.600	125	24577,03	0,8113
WEA 06B	E-101-3.050	99	24060,09	0,1598
			24365,36	

Tabelle 1: Teilanordnung der geplanten Situation (A1).

- **Anordnung A2** der geplanten Situation gemäß Tabelle 2. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 24,72 km zur Radaranlage Brockzetel durchgeführt.

<b>A2</b>				
WEAs	Anlage	NH [m]	Entfernung [m]	Winkeldiff. [°]
WEA 02	V150-5.6-5.600	125	24577,03	0
WEA 06B	E-101-3.050	99	24060,09	0,1598
WEA 07B	E-101-3.050	99	24193,86	0,5824
WEA 03	V150-5.6-5.600	125	24689,22	0,1321
WEA 05	V150-5.6-5.600	125	25074,18	0
WEA 18B	N90/2500 LS-2.500	80	25731,02	0,0722
			24720,9	

Tabelle 2: Teilanordnung der geplanten Situation (A2).

- **Anordnung A3** der geplanten Situation gemäß Tabelle 3. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 24,78 km zur Radaranlage Brockzetel durchgeführt.

<b>A3</b>				
<b>WEAs</b>	<b>Anlage</b>	<b>NH [m]</b>	<b>Entfernung [m]</b>	<b>Winkeldiff. [°]</b>
WEA 07B	E-101-3.050	99	24193,86	0
WEA 03	V150-5.6-5.600	125	24689,22	0,1321
WEA 05	V150-5.6-5.600	125	25074,18	0
WEA 18B	N90/2500 LS-2.500	80	25731,02	0,0722
WEA 12B	E-101-3.050	99	23931,27	0,3311
WEA 08B	E-101-3.050	99	24326,03	0,0015
WEA 14B	N90/2500 LS-2.500	80	25944,53	0,1605
WEA 15B	N90/2500 LS-2.500	80	25615,01	0,124
WEA 04	V150-5.6-5.600	125	25007,67	0,0417
WEA 13B	E-101-3.050	99	23620,51	0,1123
WEA 09B	E-101-3.050	99	24478,42	0,1512
			24782,88	

Tabelle 3: Teilanordnung der geplanten Situation (A3).

Die 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 Säulenanschlusses sind angegeben.

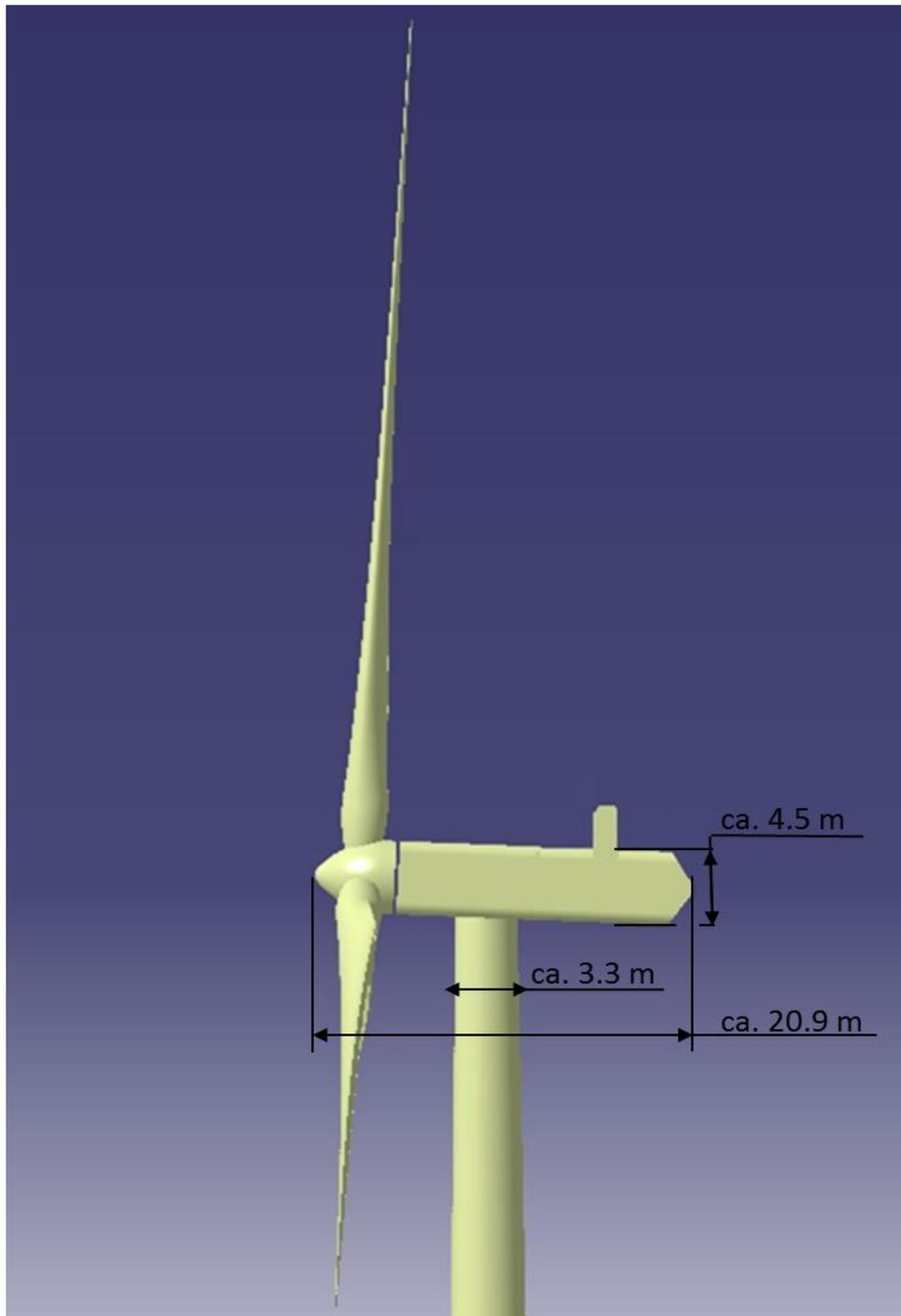


Abbildung 1: Schematische Objektgeometrie für die geplante WEA-Bauform Vestas V150 mit ca. 150 m Rotor.

Die Abbildung 2 zeigt eine Luftaufnahme der berücksichtigten geplanten WEAs im Windpark Hiddels, sowie die Vorbelastung bezüglich der Radaranlage Brockzetel.



Abbildung 2: Luftaufnahme des Windparks Hiddels mit den geplanten Windenergieanlagen (grün), dem Rückbau (magenta) sowie der Vorbelastung (blau). Die Einstrahlungsrichtungen bzgl. der Radaranlage Brockzetel sind gelb dargestellt.

## 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 3-dimensionalen Raum ermittelt.

Die nachstehende Abbildung 3 stellt schematisch einen 2-dimensionalen Flächenausschnitt dar, der unter einem Elevationswinkel vom Luftfahrzeug herunter bis zur exakten Höhenposition der Radarantenne zeigt. Als Höhenposition am Ort der Radarortungsanlage wird die Unterkante der Radarantenne gewählt. Alle Feldstärken sind normiert und in dBV/m angegeben.

Die normierten Feldstärkewerte – der Referenzfall ohne WEA – gemäß der Abbildung 5 sind die Grundlage für die Untersuchungen. Die analysierten Ergebnisse aus dem Kapitel 6.1 und 6.2 sind gültig für Elevationswinkel oberhalb von  $+0,2^\circ$ .

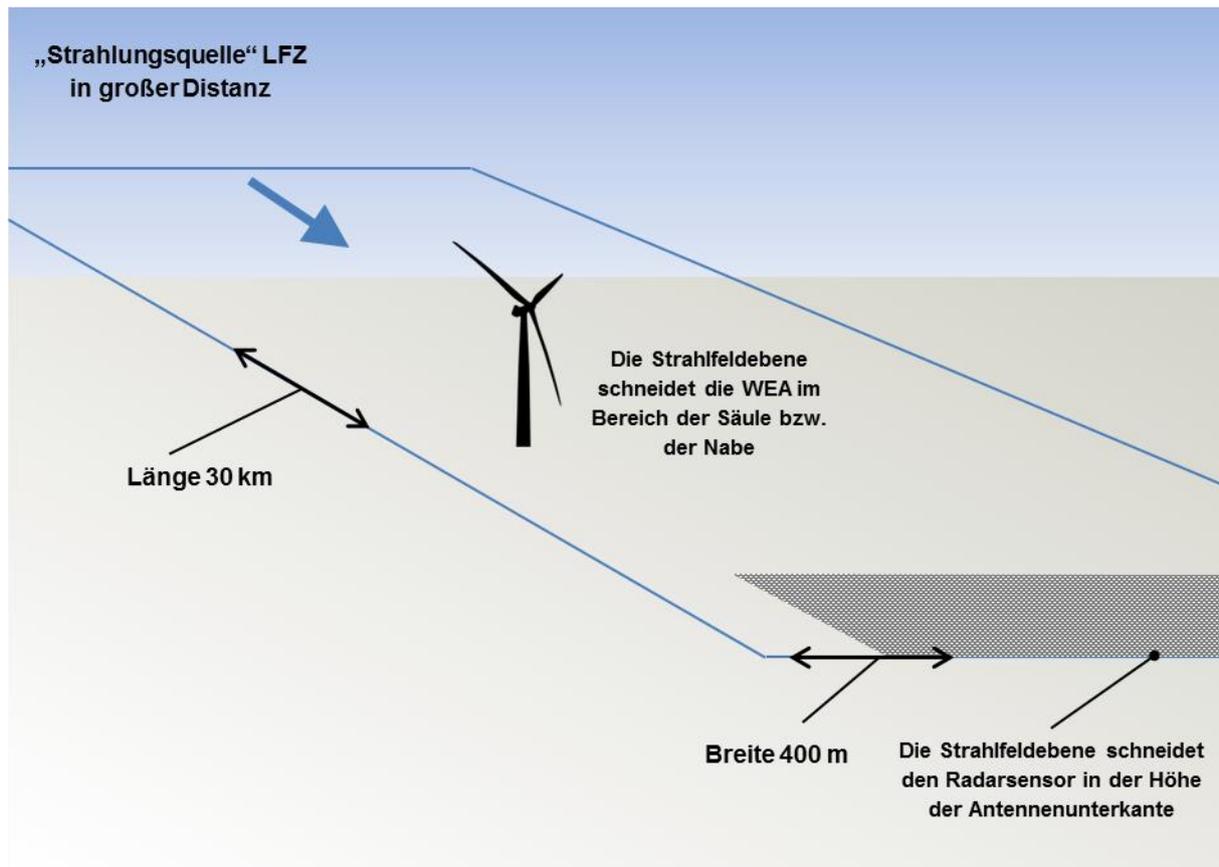


Abbildung 3: Anordnung von Radar und WEA sowie Lage des in dieser Untersuchung dargestellten Luftraums mit einer Ausdehnung von (hier) 30 km x 400 m Breite. Das Lfz wird in einer Distanz von bis zu 130 NM angenommen.  
– schematische Darstellung –

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

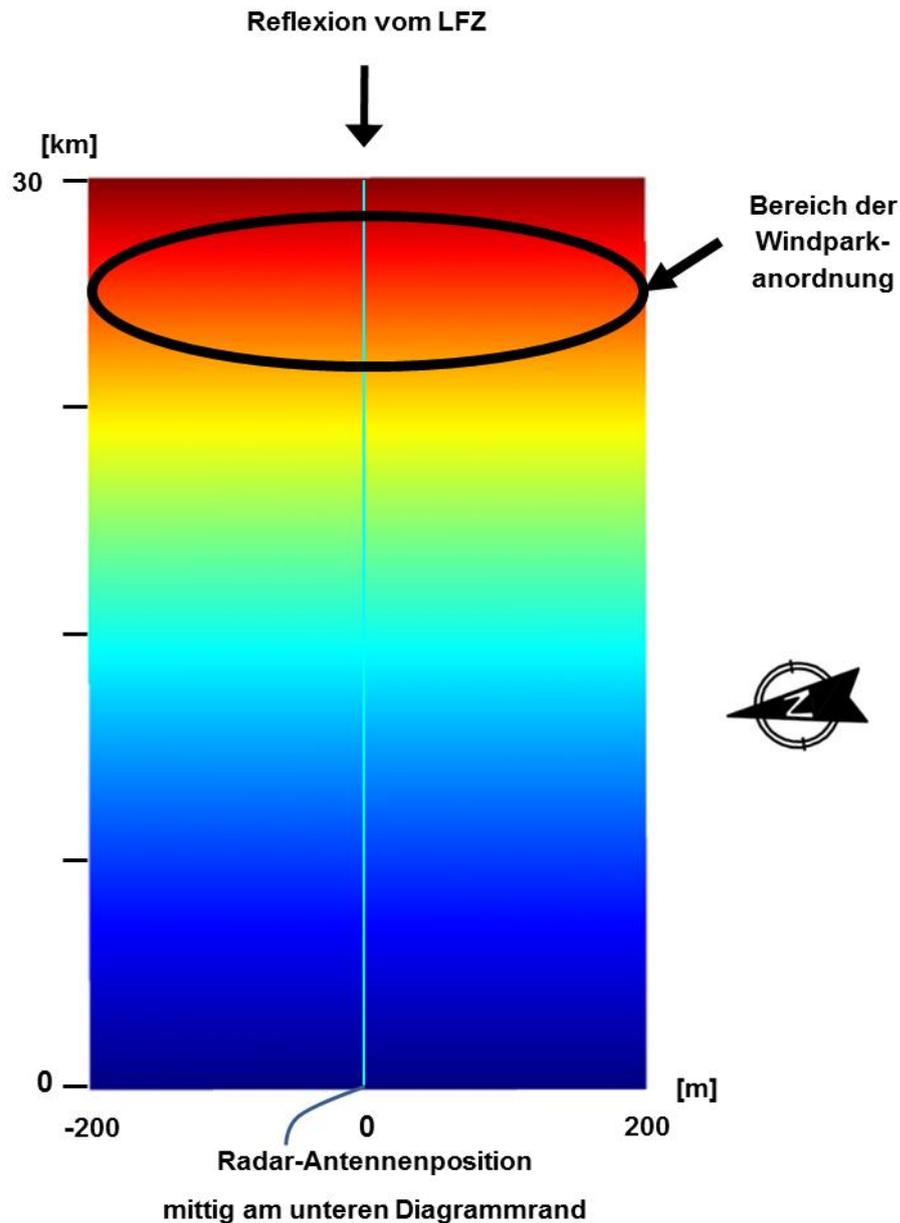


Abbildung 4: Feldgebiet von 30 km x 400 m in der Übersicht (schematische Übersicht für das Radar Brockzetel)

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 Brockzetel liegt bei ca. 24,7 km.

Die Abbildung 5 gibt die Strahlungsfeldverteilungen als Referenz im Fall ohne Windenergieanlagen zum Vergleich für die Frequenz von ca. 3,1 GHz wieder. Die Werte sind normiert und dienen einer vergleichenden Betrachtung am Ort der Empfangsantenne als Referenzwert.

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

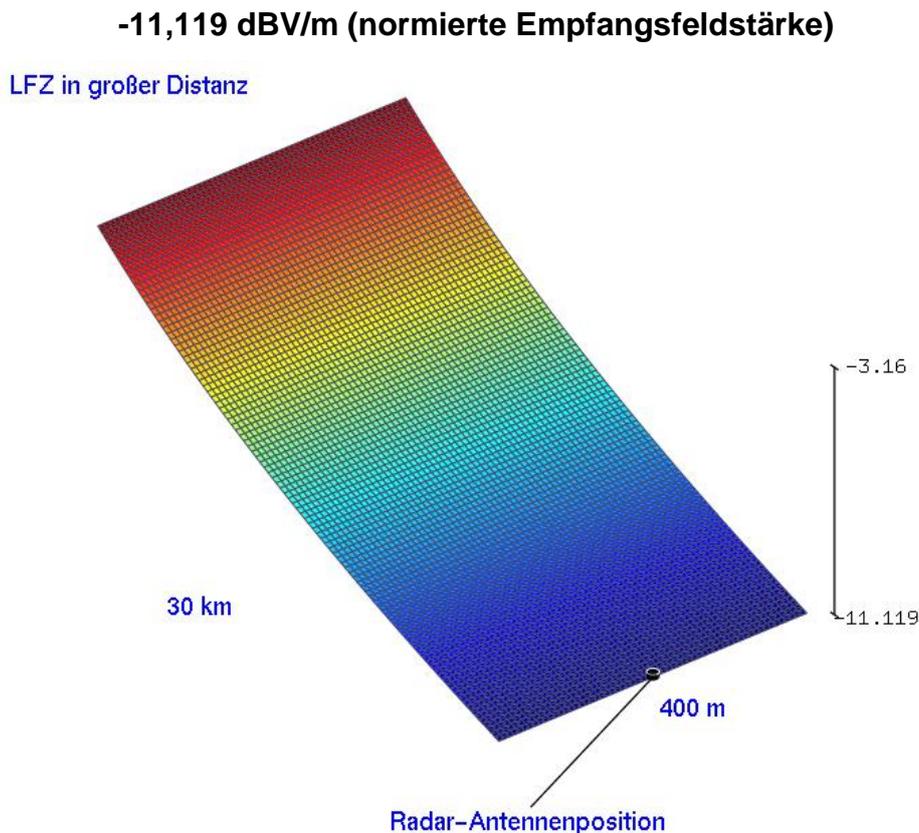


Abbildung 5: Das dargestellte Raumgebiet mit einer Elevation von  $0,2^\circ$  ohne WEA-Einfluss in der Konturdarstellung für die Betriebsfrequenz des Radars Brockzetel.

Die nachfolgenden Untersuchungsergebnisse gemäß dem 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 Vestas V150 erfolgt gemäß der Abbildung 1. Die Strahlungsfeldanalyse erfolgt für die vorgenannten Anlagentypen und Standortkombinationen.

Die Abbildung 6 bis Abbildung 8 geben für die Betriebsfrequenz der militärischen Radaranlage Brockzetel 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 radartechnisch wirksame Verschattungseffekt von einer WEA-Struktur bis zur Radarortungsanlage sowie die von der WEA verursachten Streufelder erkennbar. Deutlich sichtbar wird ebenfalls die unterschiedliche Ausdehnung und Ausprägung des Streufeldes infolge von Reflexions- und Beugungserscheinungen an den verschiedenen WEA-Strukturen in Abhängigkeit von der Distanz zum Radarsensor. Die angegebenen untersuchten Fälle zu WEA-Mehrfachanordnungen berücksichtigen die azimutale Breite des Antennenbeams des aktuellen Radarsystems im Hinblick auf eine zeitgleiche Erfassung benachbarter WEA. Die Abbildung 10 gibt hierzu eine Übersicht für den Richtungsbereich der Planung.

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

**Anordnung A1** der geplanten Situation gemäß Tabelle 1. Die Analysen werden bei einer mittleren Distanz von ca. 24,37 km zur Radaranlage Brockzetel durchgeführt.

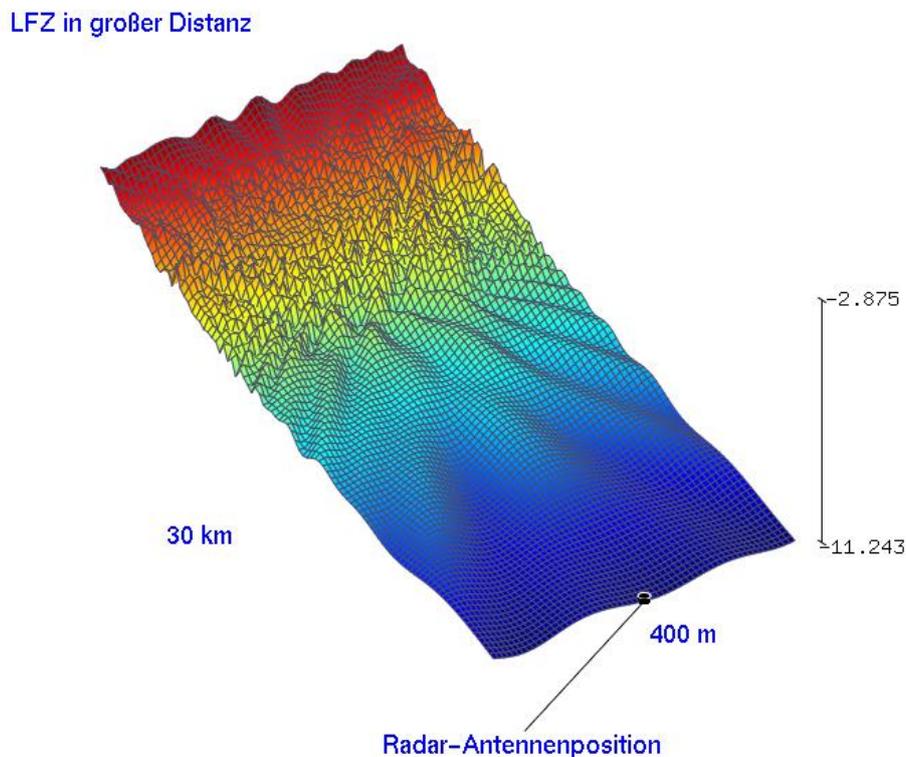


Abbildung 6: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Anordnung A1 im Einflussbereich der Radaranlage Brockzetel.

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 6 mit -11,243 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß den genannten Kriterien eine Reichweite von

**98,58 %.**

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 von ca. 24,72 km zur Radaranlage Brockzetel durchgeführt.

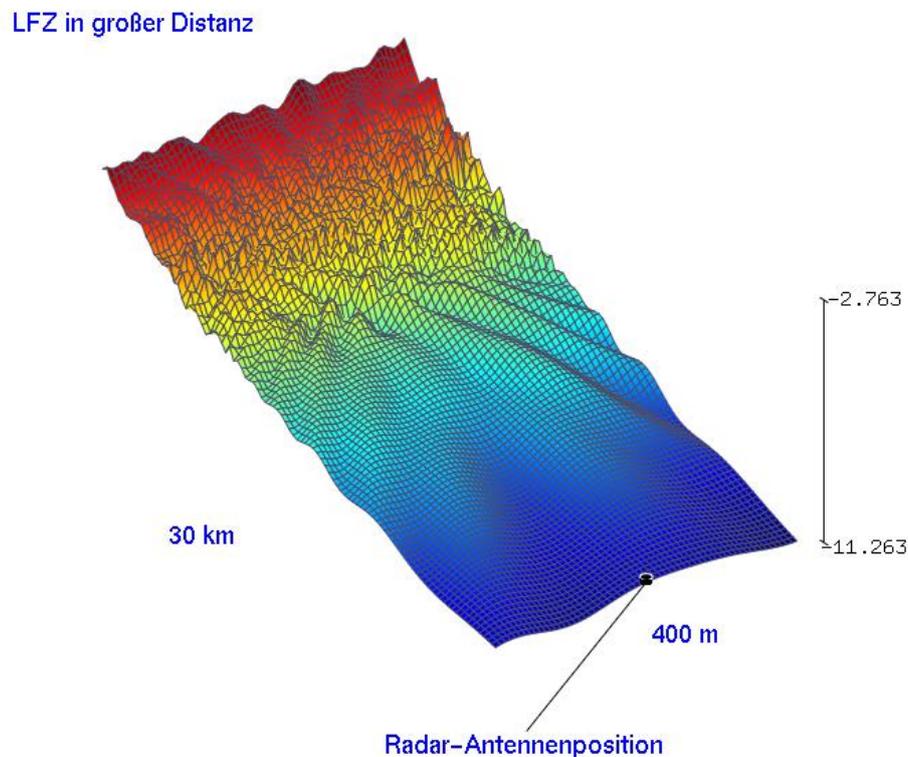


Abbildung 7: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Anordnung A2 im Einflussbereich der Radaranlage Brockzetel.

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 7 mit -11,263 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß den genannten Kriterien eine Reichweite von

**98,36 %.**

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 von ca. 24,78 km zur Radaranlage Brockzetel durchgeführt.

LFZ in großer Distanz

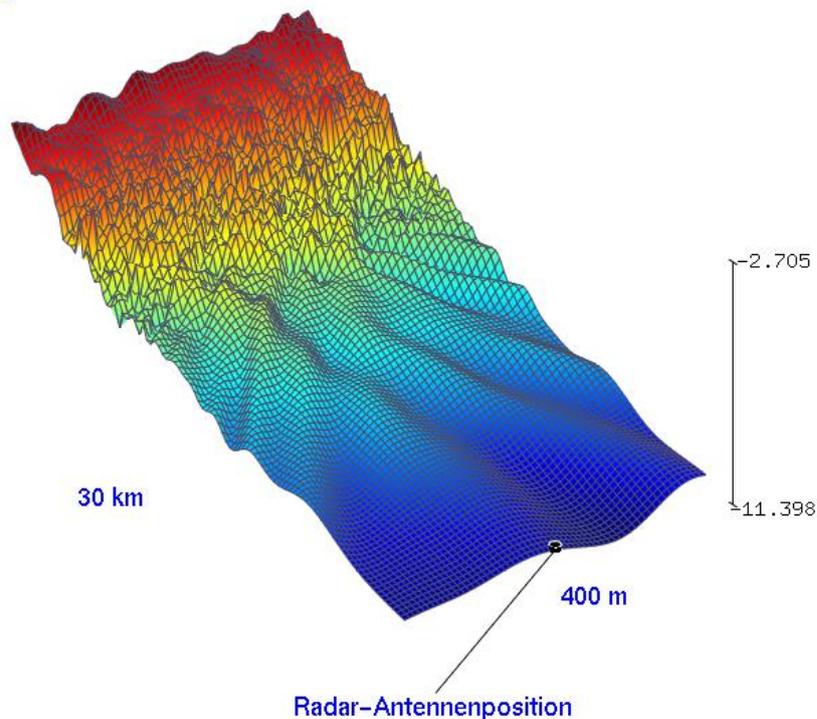


Abbildung 8: Reflexions- und Streufeldausbildung für die Anordnung A3 im Einflussbereich der Radaranlage Brockzetel.

Aus den abgebildeten Werten der Abbildung 8 mit -11,398 dBV/m errechnet sich gegenüber der Referenz gemäß den genannten Kriterien eine Reichweite von

**96,84 %.**

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

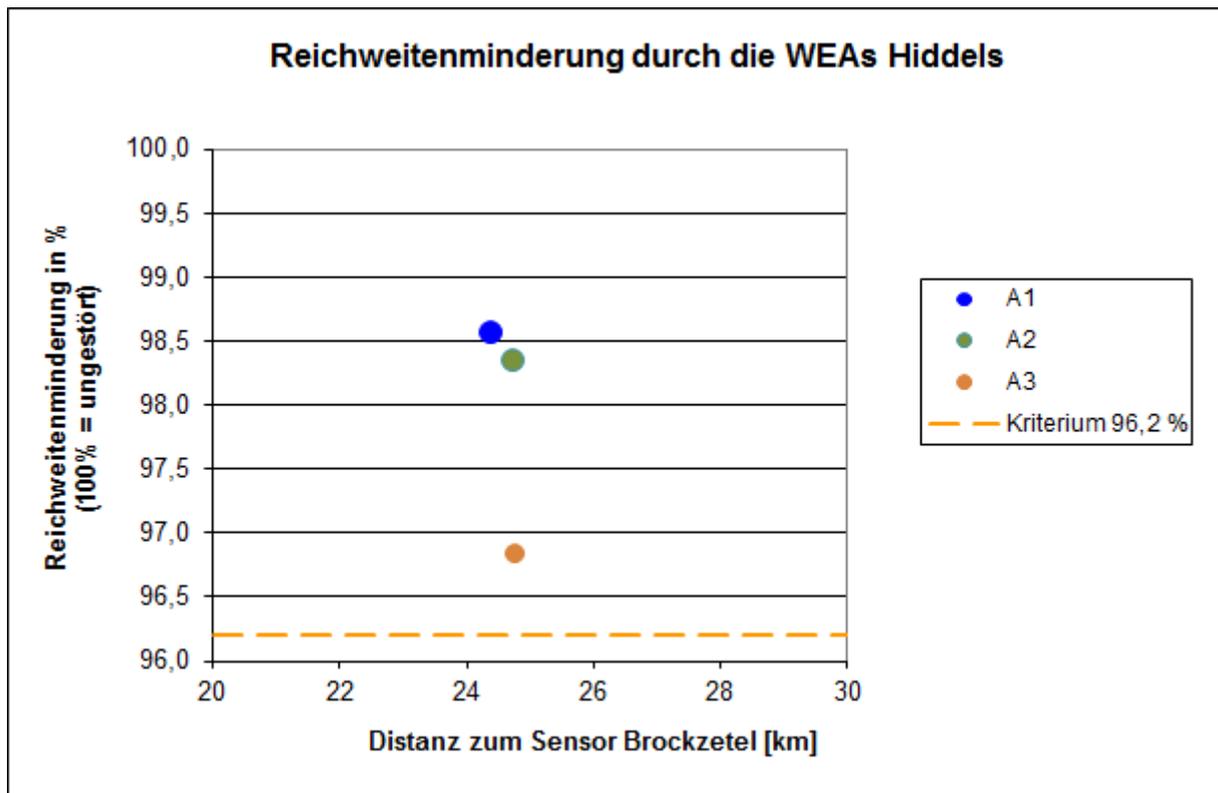


Abbildung 9: Übersicht über die zu erwartende Reichweitenreduktion bei den angegebenen WEA-Konstellationen.

### Beurteilung:

In den Untersuchungen wurden die geplanten WEAs in Hiddels als künftige Situation unter Berücksichtigung der Vorbelastung analysiert.

Für die Untersuchung der Aufstellung der geplanten WEAs liegen gemäß den Untersuchungsergebnissen keine Verschattungen vor, die das Kriterium 96,2 % verletzen.

Die nachstehende Abbildung 10 gibt die Perspektive der vorhandenen und geplanten Windenergieanlagen über Azimut und Elevation bzgl. der Gondelpositionen für das Radar Brockzetel wieder. Die Bereiche der untersuchten Anordnungen sind farbig hinterlegt.

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

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

In der Abbildung 10 ist die Perspektive der untersuchten Teilausschnitte des Windparks über Azimut und Elevation bzgl. der Gondelpositionen für das Radar Brockzetel dargestellt. Hierbei zeigen sich die jeweiligen Separationsabstände der Gondelpositionen im Azimut sowie in der Elevation.

Die Teilanordnungen mit den stärksten Verdichtungen für die Planungsanlagen sind in der Abbildung 10 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.

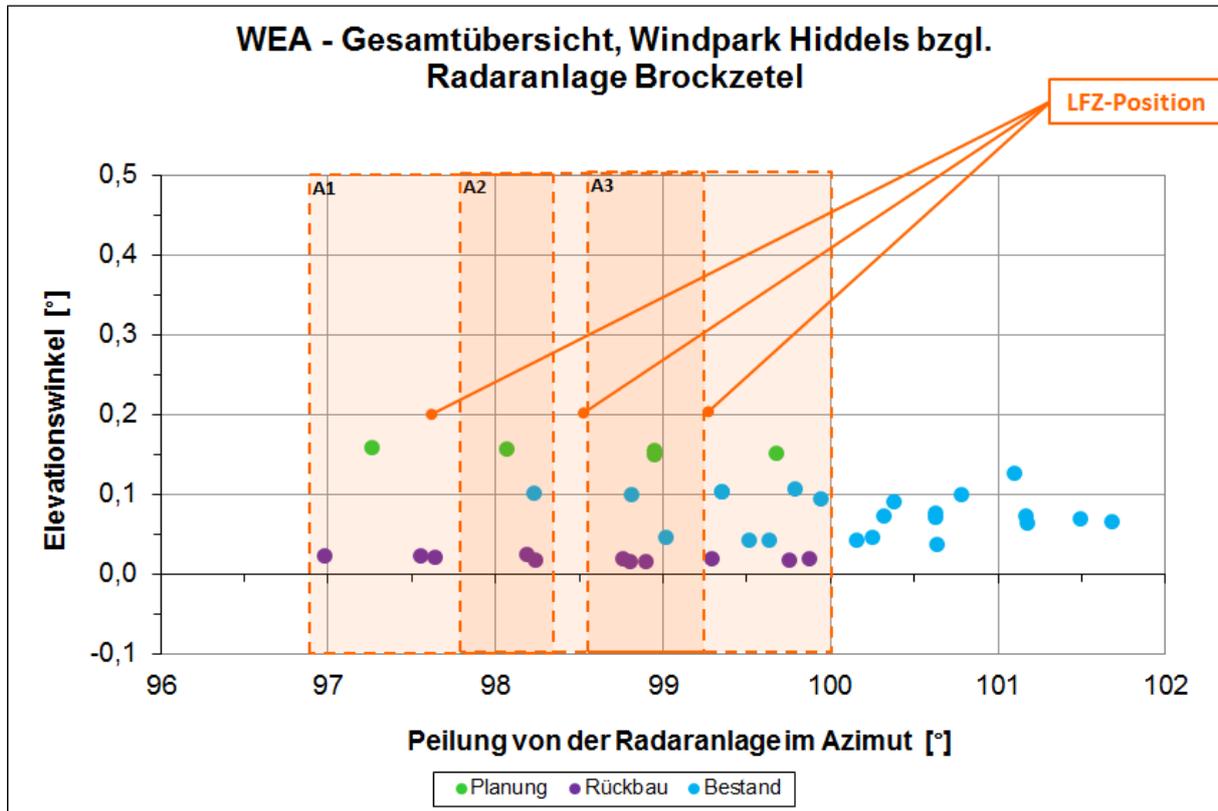


Abbildung 10: Perspektive zur Gondelanordnung gemäß Azimut und Elevation für die Position des Radars Brockzetel. Die Bereiche der analysierten Teilanordnungen sind durch farbige Flächen gekennzeichnet. Die Richtung und Elevation des angenommenen Lfz ist dargestellt.

### **6.3 Bewertung des Gesamteinflusses des Windparks**

In den Untersuchungen wurden die geplanten Standorte in Hiddels als zukünftige Situation unter Berücksichtigung der Vorbelastung sowie des Rückbaus analysiert.

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

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

Die Abbildung 11 zeigt eine Luftbildaufnahme des Windparkgebietes als Detailansicht der grün gekennzeichneten geplanten Windenergieanlagen im Windpark Hiddels in Verbindung mit dem magenta dargestellten Rückbau sowie der blau gekennzeichneten Vorbelastung. Die Koordinaten der geplanten WEA, des Rückbaus und der Vorbelastung sowie die jeweiligen Entfernungen, die Elevation und Azimutwinkelbezüge zum Radar Brockzetel sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

Die Abbildung 12 zeigt eine Übersicht zur Anordnung bzgl. der Elevation und Azimut der WEA-Gondeln bzgl. der militärischen Radaranlage Brockzetel.

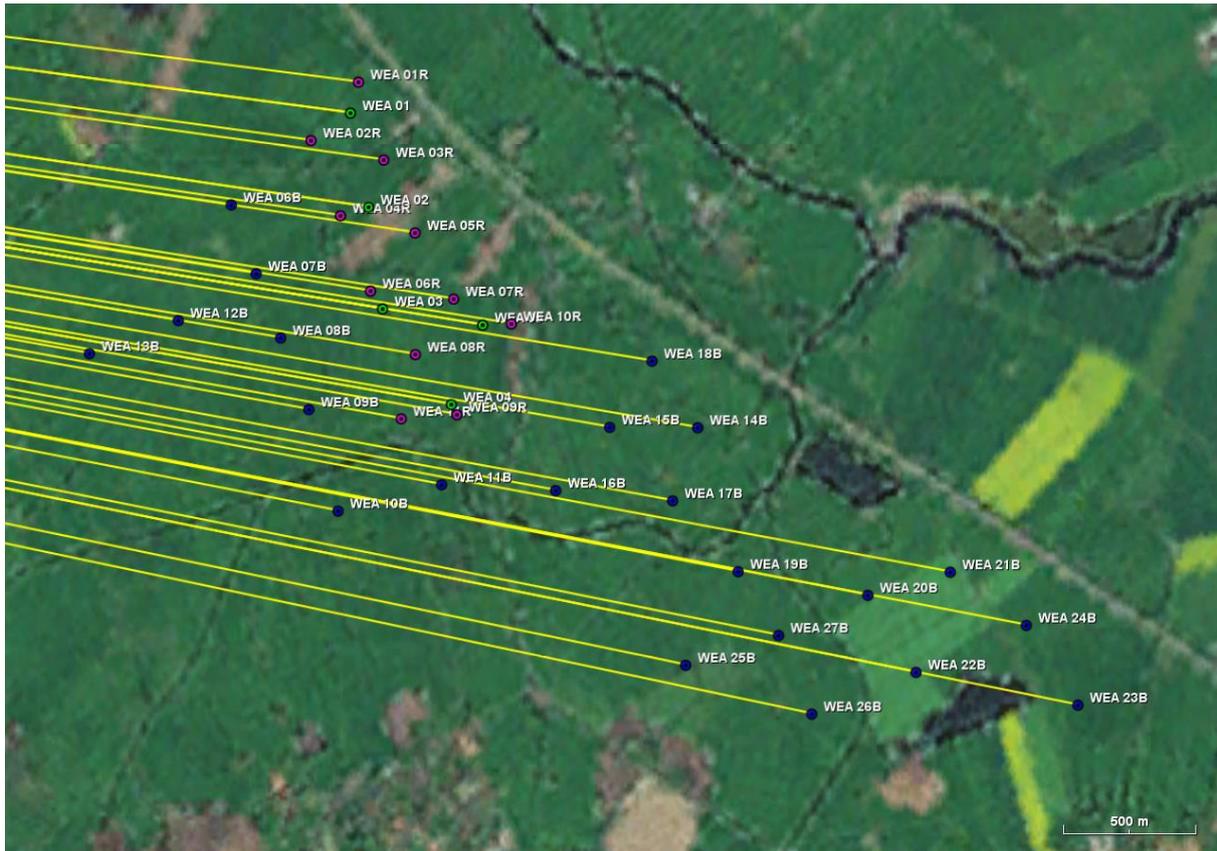


Abbildung 11: Übersicht über den Windpark Hiddels mit den geplanten Windenergieanlagen (grün), dem Rückbau (magenta) sowie der Vorbelastung (blau). Die Einstrahlungsrichtungen bzgl. der Radaranlage Brockzetel sind gelb dargestellt.

Standort	Anlage	WGS 84 Nord	WGS 84 Ost	Nabenhöhe [m]	Elevation [°]	Distanz [m]	Winkel [°]
<b>Planung</b>							
WEA 01	V150-5.6-5.600	53° 26' 18,95"	8° 1' 50,85"	125	0,159	24458,97	97,259
WEA 02	V150-5.6-5.600	53° 26' 7,30"	8° 1' 54,58"	125	0,158	24577,03	98,070
WEA 03	V150-5.6-5.600	53° 25' 54,73"	8° 1' 57,47"	125	0,156	24689,22	98,944
WEA 04	V150-5.6-5.600	53° 25' 42,90"	8° 2' 11,61"	125	0,152	25007,67	99,675
WEA 05	V150-5.6-5.600	53° 25' 52,73"	8° 2' 18,05"	125	0,150	25074,18	98,944
<b>Rückbau</b>							
WEA 01R	V66 1650-300	53° 26' 22,77"	8° 1' 52,19"	67	0,023	24468,27	96,977
WEA 02R	V66 1650-300	53° 26' 15,55"	8° 1' 42,74"	67	0,024	24324,69	97,551
WEA 03R	E-66/15.66 1500	53° 26' 13,15"	8° 1' 57,70"	67	0,022	24608,46	97,634
WEA 04R	E-66/15.66 1500	53° 26' 6,24"	8° 1' 48,81"	67	0,025	24476,46	98,182
WEA 05R	E-66/15.66 1500	53° 26' 4,14"	8° 2' 4,14"	67	0,019	24765,93	98,234
WEA 06R	E-66/15.66 1500	53° 25' 56,94"	8° 1' 54,98"	67	0,017	24632,94	98,804
WEA 07R	E-66/15.66 1500	53° 25' 55,95"	8° 2' 12,07"	67	0,020	24949,39	98,759
WEA 08R	E-66/15.66 1500	53° 25' 49,09"	8° 2' 4,21"	67	0,020	24840,47	99,295
WEA 09R	E-66/15.66 1500	53° 25' 41,65"	8° 2' 12,78"	67	0,019	25035,66	99,754
WEA 10R	E-66/15.66 1500	53° 25' 52,87"	8° 2' 23,95"	67	0,017	25181,08	98,895
WEA 11R	E-66/15.66 1500	53° 25' 41,14"	8° 2' 1,30"	67	0,020	24829,76	99,875
<b>Bestand</b>							
WEA 06B	E-101-3.050	53° 26' 7,58"	8° 1' 26,34"	99	0,103	24060,09	98,230
WEA 07B	E-101-3.050	53° 25' 59,08"	8° 1' 31,47"	99	0,101	24193,86	98,812
WEA 08B	E-101-3.050	53° 25' 51,13"	8° 1' 36,53"	99	0,104	24326,03	99,349
WEA 09B	E-101-3.050	53° 25' 42,28"	8° 1' 42,31"	99	0,096	24478,42	99,939
WEA 10B	E-101-3.050	53° 25' 29,74"	8° 1' 48,34"	99	0,101	24659,48	100,779
WEA 11B	E-101-3.050	53° 25' 32,98"	8° 2' 9,61"	99	0,092	25026,31	100,382
WEA 12B	E-101-3.050	53° 25' 53,29"	8° 1' 15,45"	99	0,104	23931,27	99,348
WEA 13B	E-101-3.050	53° 25' 49,19"	8° 0' 57,18"	99	0,107	23620,51	99,788
WEA 14B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 40,04"	8° 3' 2,28"	80	0,044	25944,53	99,510
WEA 15B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 40,09"	8° 2' 44,18"	80	0,044	25615,01	99,634
WEA 16B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 32,27"	8° 2' 33,09"	80	0,047	25456,50	100,249
WEA 17B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 31,00"	8° 2' 57,12"	80	0,044	25899,94	100,155
WEA 18B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 48,28"	8° 2' 52,88"	80	0,047	25731,02	99,017
WEA 19B	MM 92-2.050	53° 25' 22,24"	8° 3' 10,58"	78,5	0,038	26194,48	100,639
WEA 20B	3.4M104-3.400	53° 25' 19,31"	8° 3' 37,25"	98	0,077	26695,23	100,629
WEA 21B	3.4M104-3.400	53° 25' 22,17"	8° 3' 54,20"	98	0,074	26986,14	100,318
WEA 22B	3.4M104-3.400	53° 25' 9,78"	8° 3' 47,16"	98	0,073	26932,06	101,170
WEA 23B	3.4M104-3.400	53° 25' 5,71"	8° 4' 20,45"	98	0,065	27559,61	101,172
WEA 24B	3.4M104-3.400	53° 25' 15,59"	8° 4' 9,84"	98	0,072	27307,96	100,626
WEA 25B	3.2M114-3.200	53° 25' 10,67"	8° 2' 59,79"	93	0,071	26069,68	101,494
WEA 26B	3.2M114-3.200	53° 25' 4,63"	8° 3' 25,71"	93	0,066	26576,59	101,676
WEA 27B	3.4M114-3.400	53° 25' 14,35"	8° 3' 18,89"	119	0,126	26392,32	101,095

Tabelle 4: Koordinatenübersicht über die analysierte radartechnisch zulässige Aufstellung mit den Planungsanlagen im Windpark Hiddels (grün), dem Rückbau (magenta) sowie der Vorbelastung (blau).

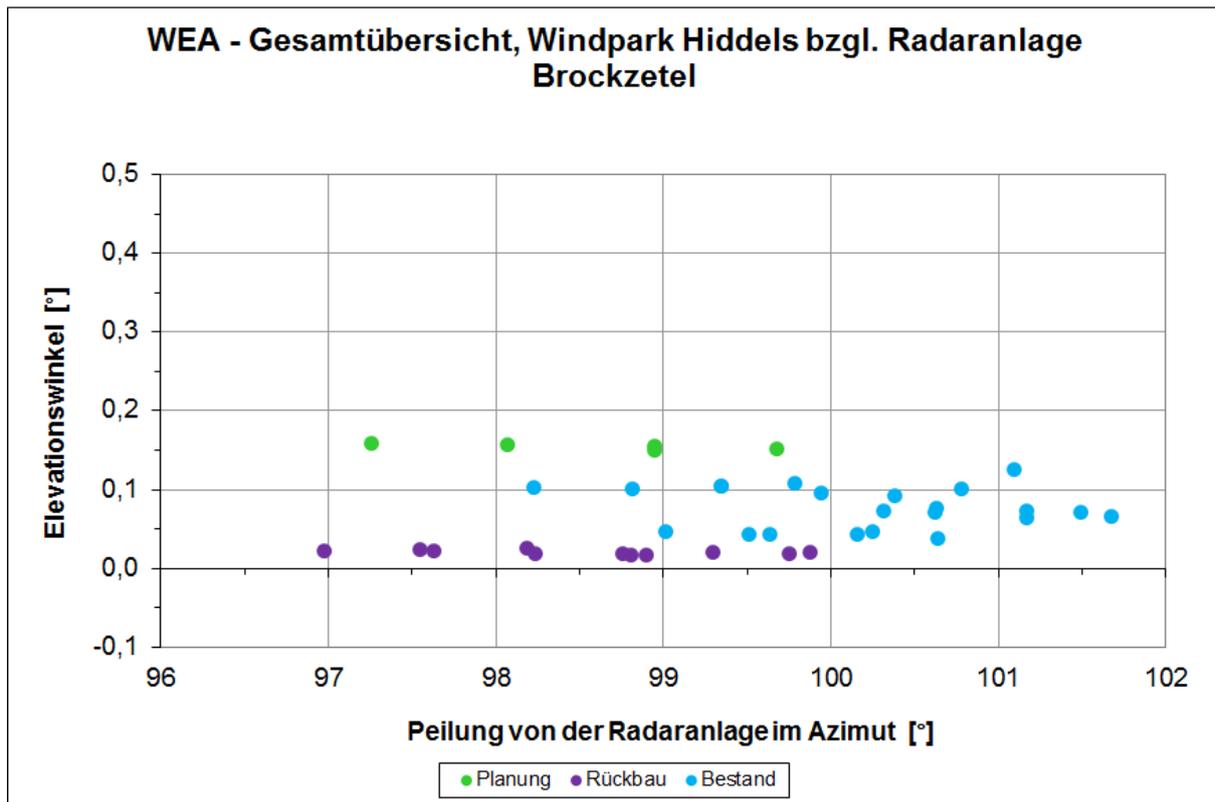


Abbildung 12: Perspektive zur Gondelanordnung gemäß Azimut und Elevation für die Position des Radars Brockzetel.

## 7 Zielsetzung (Radar Wittmund)

Das vorliegende Gutachten bewertet bzgl. der Radaranlage am Flugplatz Wittmund für den Radargerätetyp ASR-S die radartechnischen Störwirkungen des Windparks Hiddels für fünf neue Windenergieanlagen vom Typ Vestas V150 unter Berücksichtigung von 11 rückzubauenden Windenergieanlagen und 22 Bestandsanlagen im Hinblick auf die Möglichkeit von Flugzielverlusten im Falle eines Überfluges über die untersuchte Windenergieanlagenanordnung, vgl. Tabelle 5. Die geplanten Windenergieanlagen im WP Hiddels befinden sich südöstlich des Radarstandortes Wittmund in einer Entfernung von ca. 28 km, vgl. Abbildung 13.

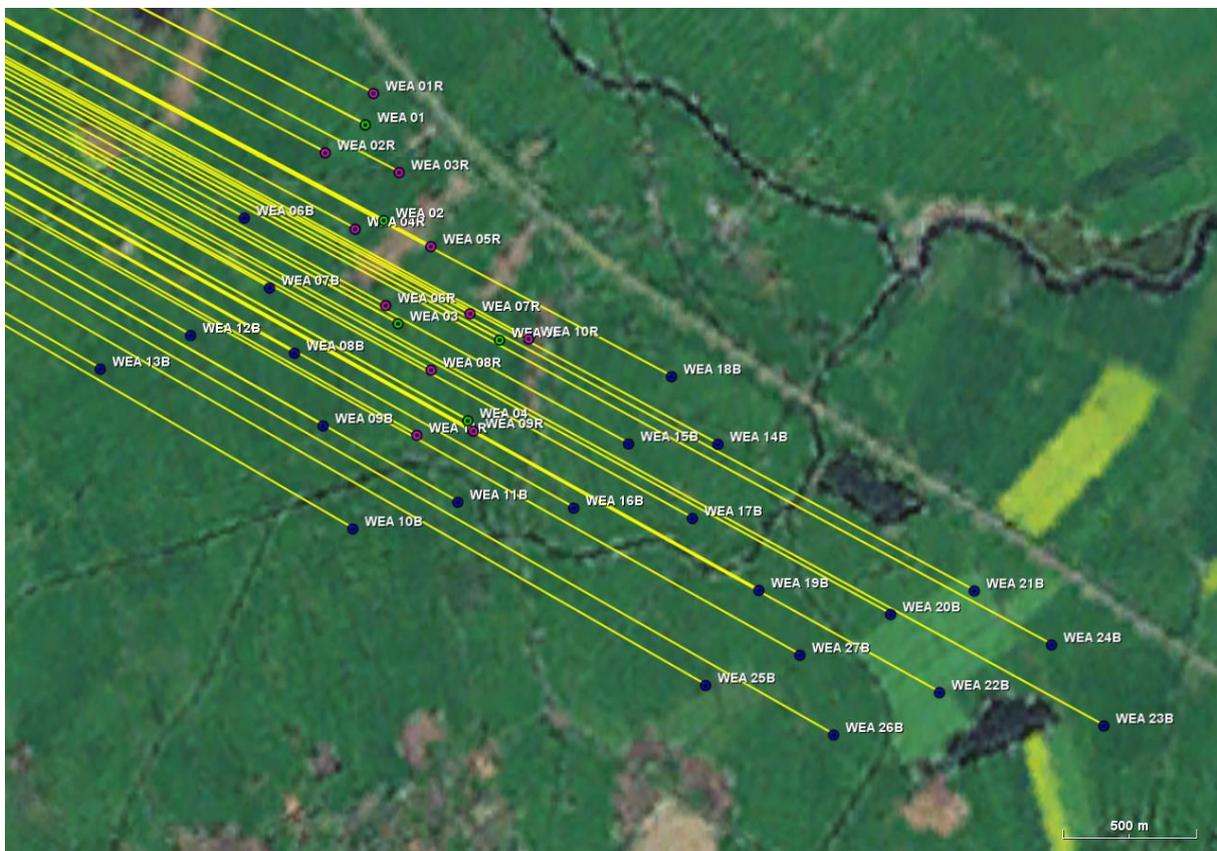


Abbildung 13: Detailübersicht der geplanten Windenergieanlagen (grün), des Rückbaus (magenta) sowie der Bestandsanlagen (blau).

Standort	Anlage	WGS 84 Nord	WGS 84 Ost	Nabenhöhe [m]	Elevation [°]	Distanz [m]	Winkel [°]	Rotordrehzahl begrenzung WR II [rpm]
<b>Planung</b>								
WEA 01	V150-5.6-5.600	53° 26' 18,95"	8° 1' 50,85"	125	0,089	27297,74	117,252	6
WEA 02	V150-5.6-5.600	53° 26' 7,30"	8° 1' 54,58"	125	0,087	27526,85	117,850	6
WEA 03	V150-5.6-5.600	53° 25' 54,73"	8° 1' 57,47"	125	0,084	27759,02	118,506	5
WEA 04	V150-5.6-5.600	53° 25' 42,90"	8° 2' 11,61"	125	0,080	28164,66	118,902	5
WEA 05	V150-5.6-5.600	53° 25' 52,73"	8° 2' 18,05"	125	0,080	28122,06	118,243	6
<b>Rückbau</b>								
WEA 01R	V66 1650-300	53° 26' 22,77"	8° 1' 52,19"	67	-0,033	27265,30	117,008	
WEA 02R	V66 1650-300	53° 26' 15,55"	8° 1' 42,74"	67	-0,033	27214,09	117,594	
WEA 03R	E-66/15.66 1500	53° 26' 13,15"	8° 1' 57,70"	67	-0,034	27493,04	117,462	
WEA 04R	E-66/15.66 1500	53° 26' 6,24"	8° 1' 48,81"	67	-0,032	27448,49	118,016	
WEA 05R	E-66/15.66 1500	53° 26' 4,14"	8° 2' 4,14"	67	-0,038	27728,56	117,856	
WEA 06R	E-66/15.66 1500	53° 25' 56,94"	8° 1' 54,98"	67	-0,039	27685,79	118,427	
WEA 07R	E-66/15.66 1500	53° 25' 55,95"	8° 2' 12,07"	67	-0,037	27977,57	118,172	
WEA 08R	E-66/15.66 1500	53° 25' 49,09"	8° 2' 4,21"	67	-0,037	27952,19	118,696	
WEA 09R	E-66/15.66 1500	53° 25' 41,65"	8° 2' 12,78"	67	-0,038	28202,38	118,949	
WEA 10R	E-66/15.66 1500	53° 25' 52,87"	8° 2' 23,95"	67	-0,039	28215,75	118,129	
WEA 11R	E-66/15.66 1500	53° 25' 41,14"	8° 2' 1,30"	67	-0,038	28025,41	119,189	
<b>Bestand</b>								
WEA 06B	E-101-3.050	53° 26' 7,58"	8° 1' 26,34"	99	0,036	27064,08	118,354	
WEA 07B	E-101-3.050	53° 25' 59,08"	8° 1' 31,47"	99	0,034	27273,75	118,744	
WEA 08B	E-101-3.050	53° 25' 51,13"	8° 1' 36,53"	99	0,037	27475,24	119,097	
WEA 09B	E-101-3.050	53° 25' 42,28"	8° 1' 42,31"	99	0,029	27703,19	119,482	
WEA 10B	E-101-3.050	53° 25' 29,74"	8° 1' 48,34"	99	0,033	27993,74	120,058	
WEA 11B	E-101-3.050	53° 25' 32,98"	8° 2' 9,61"	99	0,026	28283,48	119,481	
WEA 12B	E-101-3.050	53° 25' 53,29"	8° 1' 15,45"	99	0,036	27103,81	119,378	
WEA 13B	E-101-3.050	53° 25' 49,19"	8° 0' 57,18"	99	0,038	26874,74	119,969	
WEA 14B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 40,04"	8° 3' 2,28"	80	-0,014	29026,93	118,153	
WEA 15B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 40,09"	8° 2' 44,18"	80	-0,015	28732,81	118,468	
WEA 16B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 32,27"	8° 2' 33,09"	80	-0,013	28671,36	119,088	
WEA 17B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 31,00"	8° 2' 57,12"	80	-0,015	29077,81	118,727	
WEA 18B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 48,28"	8° 2' 52,88"	80	-0,011	28753,29	117,872	
WEA 19B	MM 92-2.050	53° 25' 22,24"	8° 3' 10,58"	78,5	-0,020	29426,80	118,953	
WEA 20B	3.4M104-3.400	53° 25' 19,31"	8° 3' 37,25"	98	0,016	29901,16	118,643	
WEA 21B	3.4M104-3.400	53° 25' 22,17"	8° 3' 54,20"	98	0,013	30133,08	118,207	
WEA 22B	3.4M104-3.400	53° 25' 9,78"	8° 3' 47,16"	98	0,012	30204,42	118,964	
WEA 23B	3.4M104-3.400	53° 25' 5,71"	8° 4' 20,45"	98	0,006	30802,79	118,608	
WEA 24B	3.4M104-3.400	53° 25' 15,59"	8° 4' 9,84"	98	0,012	30484,02	118,284	
WEA 25B	3.2M114-3.200	53° 25' 10,67"	8° 2' 59,79"	93	0,008	29430,66	119,750	
WEA 26B	3.2M114-3.200	53° 25' 4,63"	8° 3' 25,71"	93	0,005	29938,60	119,600	
WEA 27B	3.4M114-3.400	53° 25' 14,35"	8° 3' 18,89"	119	0,058	29680,23	119,219	

Tabelle 5: Koordinatenübersicht über die geplanten Windenergieanlagen (grün), den Rückbau (magenta) sowie den Bestand (blau) im WP Hiddels.

Der Schwerpunkt der Untersuchung besteht bei einer Beeinträchtigung des Radarsystems durch die WEA-Anordnung in der Analyse der verschiedenen technischen Möglichkeiten im Zusammenhang mit der bedarfsorientierten Fremdsteuerung. Es werden dabei zusätzlich verschiedene Rotororientierungen und die damit verbundenen unterschiedlichen Reflexionscharakteristika bewertet.

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

Die Untersuchung führt einen relativen Vergleich zwischen einem angenommenen WEA-Trudelbetrieb bis WEA-Stillstand -um die Störfreiheit sicherzustellen- im Rahmen der bedarfsorientierten Fremdsteuerung der WEAs durch. Einbezogen wird dabei die Richtungscharakteristik der Radarreflexion des konkreten WEA-Fabrikats bzw. Typs auf der Grundlage von Konstruktionsdaten der Hersteller.

Das Ergebnis in der vorliegenden gutachterlichen Untersuchung ist eine Aussage zum Lfz-Trackverlust für ein überquerendes Lfz, im Bereich der WEA-Anordnung. Die Bewertung der Zellenbelastung – DCM-Zellen – erfolgt dabei unter Beachtung des bei der Bundeswehr vorhandenen Tools. Im Rahmen des Gutachtens wurden hingegen Berechnungen mit messtechnisch verifizierten individuellen WEA-RQS-Daten durchgeführt, die in einzelnen Fällen durch Datenaufzeichnungen am neuen Radar ASR-S verifiziert worden sind.

Eine DCM-Zellenbewertung – inkl. des Tools bei der Bundeswehr – ermöglicht nur eine Aussage über die Intensität und die räumlichen Ausdehnung der zu erwartenden Einflüsse durch WEAs auf die „Cluttermap“. Sie gibt keine unmittelbare Aussage über die Wahrscheinlichkeit und zeitliche Dauer eines Lfz-Trackverlustes für einen ausgewählten Flugweg.

Das im Gutachten dargestellte Ergebnis zum Lfz-Trackverlust ist dagegen die entscheidende Aussage. Diese erfolgt im Rahmen der gutachterlichen Untersuchung durch weiterführende Berechnungen zu einem überfliegenden Lfz im Bereich der WEA-Anordnung.

Weiter erfolgt bei den im Gutachten ausgewiesenen Ergebnissen im Zusammenhang mit der Lfz-Überquerung ein Vergleich zwischen dem

- a. Lfz-Trackverlust für einen WEA-Trudelbetrieb durch eine bedarfsorientierte Fremdsteuerung und dem
- b. Lfz-Trackverlust für eine mit ausreichend reduzierter Rotordrehzahl betriebene WEA im Rahmen der bedarfsorientierten Fremdsteuerung.

Die Fremdsteuerung wird dabei nicht in Frage gestellt, sofern nicht ausdrücklich abweichend erwähnt.

Auf der Grundlage eines Feldversuchs zur Ermittlung absoluter Werte zum Lfz-Trackverlust unabhängig von der bedarfsorientierten Fremdsteuerung können sich geringfügig abweichende Ergebnisse zeigen, da das Gutachten als „Worst-Case“-Analyse auf einer vollständigen metallischen Reflexionsintensität der Rotorblätter basiert. In der Realität ist von einer geringeren Reflexionsintensität der Rotorblätter auszugehen, die günstigere Ergebnisse zur Reflexionsintensität bedeutet.

Die Untersuchung beurteilt für die geplanten WEAs die Auswirkungen auf mögliche Lfz-Trackverluste in Abhängigkeit von der räumlichen Anordnung der WEAs sowie die Störwirkungen, die durch die WEA-Anlagentypen zu erwarten sind. Das Ziel der Untersuchung ist die Identifizierung eines Restrisikos im Hinblick auf Lfz-Trackverluste gegenüber der heutigen Situation.

Bezüglich der Begrifflichkeiten und Definitionen sei auf die Festlegungen gemäß Anhang A verwiesen.

## **8 Vorbemerkung zur Wechselwirkung zwischen WEA und Radaranlagen der militärischen Flugsicherung (Radar Wittmund)**

Die Analyse eines möglichen Störpotentials durch die geplanten Windenergieanlagen im Gebiet Hiddels, südöstlich der Liegenschaft Wittmund im Nahbereich der militärischen Flugsicherungsanlagen, wurde erforderlich aufgrund von Bedenken der zuständigen Genehmigungsbehörden, insbesondere der militärischen Flugsicherung.

Bedenken wurden im Zusammenhang mit Windenergieanlagen seit ca. 1998 im Umfeld von Luftverteidigungsradaranlagen stets geäußert und im Rahmen einer umfangreichen, durch Flugvermessungen gestützten Untersuchung unter Leitung des Luftwaffenführungskommandos bestätigt, vgl. Abschlussbericht: "Einfluss von Hindernissen..." vom 15.02.2004. Dabei wurden gezielt für in Betrieb befindliche 3D-Radaranlagen Kriterien und Lösungen für WEAs bzgl. der radartechnisch zulässigen Dimensionen und räumlicher Anordnungen ausgearbeitet und nachgewiesen.

Vergleichbare durch systematische Flugvermessungen messtechnisch bestätigte und verifizierte Kriterien liegen für 2D-Radaranlagen im Rahmen der Förderstudie des BMU seit September 2011 vor:

- Dabei erfolgten an verschiedenen militärischen Flugplätzen die Aufzeichnung von Störeinflüssen von Windenergieanlagen auf das Radarsystem ASR 910 über einen langen Zeitraum unter sehr unterschiedlichen Wetter- bzw. Windbedingungen. Durch diese Ergebnisse konnten verschiedenen Windenergieanlagentypen unterschiedliche Störpotentiale bzw. Störhäufigkeiten zugeordnet werden.
- Auf der Grundlage von Auswertungen zu WEA-Darstellungs- bzw. Störhäufigkeiten sowie auf der Grundlage der Auswertung von Lfz-Überquerungen über WEA-Anordnungen konnten Kriterien für radartechnisch zulässige Anordnungen am Beispiel vorhandener Windenergieanlagenanordnungen und WEA-Typen festgelegt werden.

Durch die Bewegung der Rotoren einer WEA wird für den Radarsensor ein Reflexionsobjekt mit einem starken dynamischen Radarquerschnitt bzw. Radarreflexionsintensität generiert. Die Charakteristik eines dynamischen Radarquerschnittes ist einem bewegten Luftfahrzeug sehr ähnlich, so dass für den Radarsensor eines ASR-S oder vergleichbarer moderner Flugsicherungsradaranlagen eine Unterscheidung gegenüber einem Luftfahrzeug (Lfz) erschwert wird.

Die Störeinflüsse von Windenergieanlagen bei 2D-Radaranlagen zur Flugsicherung sind im Schwerpunkt durch zwei unterschiedliche Erscheinungen beschreibbar:

- a. Jede Windenergieanlage, unabhängig von ihrer Dimension und Rotorblattform, erzeugt mit einer individuellen Häufigkeit auf dem Radarschirm eine ortsfeste Zieldarstellung. In der Umgebung eines Radaranlagenstandortes sind über diese Erscheinung prinzipiell alle vorhandenen Windenergieanlagen sichtbar. Beim ASR-S ist die Darstellung dieser Plots üblicherweise nicht eingeschaltet. Die Darstellungshäufigkeit von WEAs ist somit kein direktes Maß für deren Störwirkung. In der Umgebung des Flugplatzes bzw. im Überwachungsbereich des Radars ist bereits eine größere Anzahl von Windenergieanlagen vorhanden. Zusätzliche Windenergieanlagen können beim ASR-S zu Lfz-Plotausfällen sowie hierdurch bedingte Trackabbrüche generieren. In seltenen Fällen können WEA-Plots zu einer Trackablenkung bzw. Falschtracks führen.

WEA-Plots verursachen in der Radardarstellung bei Windstille – wenn der Windenergieanlagenrotor nicht dreht – keine Lfz-Plotausfälle. Sie sind durch technische Maßnahmen bei Windenergieanlagen nicht lösbar, da hierzu eine Minderung der Reflexionsintensität von Windenergieanlagen über mehrere Dekaden, d. h. mehr als 30 dB (Faktor 1000), notwendig wäre, die technisch nicht möglich ist.

- b. Beim Überflug über Windparks oder über mehrere räumlich eng angeordnete Windenergieanlagen zeigen sich Schwächungen der Primärzieldarstellung bei der Überwachung von Lfz-Bewegungen im direkten Umgebungsgebiet um und

über WEAs für alle Flughöhen. Eine falsche Trackgenerierung ist ebenfalls möglich.

Dieser Sachverhalt kann für die Flugsicherung eine schwerwiegende Problematik eines nicht akzeptablen Lfz-Zielverlustes bewirken und ist der Schwerpunkt der technischen Beurteilung des vorliegenden Gutachtens. Diese Problematik wird sehr stark bestimmt durch die räumliche Anordnung der geplanten Windenergieanlagen sowie die technischen Parameter der Windenergieanlagen, die die Störwirkung bestimmen. Durch technische Maßnahmen bei den Windenergieanlagen sowie durch deren räumliche Anordnungen im Hinblick auf mögliche Überflugszenarien von Lfz sind hier Maßnahmen zur Problemlösung oder Problemminderung möglich. Diese Maßnahmen sind im Hinblick auf künftige digital arbeitende Radarsysteme zur Flugsicherung besonders vorteilhaft, weil eine Unterscheidung zwischen einer WEA und einem Lfz unterstützt wird.

In diesem Zusammenhang kann festgestellt werden, dass abhängig von der Verweildauer eines Lfz im Fall des Überfluges im entsprechend betroffenen Luftraumgebiet oberhalb einzelner WEAs oder kleiner isoliert stehender Windparks diese nicht zwangsläufig als Ursache entsprechender Störungen wirksam werden, wenn die Verweildauer eines Lfz oberhalb dieses Gebietes geringer ist als drei Antennenumdrehungszeiten.

Zusätzlich wurden im vorliegenden Gutachten technische Erkenntnisse aus nachstehenden Dokumentationen und Besprechungen berücksichtigt:

- Abschlussbericht: Einfluss von Hindernissen auf HF-gestützte Führungsmittel vom 15.02.2004
- Feldstudie RAF AWC „The Effects of Wind turbine Farms on ATC Radar“ vom 10.05.2005
- Messtechnische Untersuchung an Windenergie rotorblättern zur Ermittlung von reflexionsdämpfenden Möglichkeiten vom 04.06.2003 und 15.01.2004.

- Report DoD USA „THE EFFECTS OF WIND TURBINE FARMS ON MILITARY READINESS 2006“
- aktuelle Empfehlungen von EUROCONTROL gemäß Doc ID 0.3 vom 18.05.2008
- BMVg IT 4 – Schutzbereich von Funkstellen (allgemeiner Umdruck Nr. 51)
- Besprechung und Vortrag bei „EUROCONTROL / Wind energy task group“ vom 01.03.2006 „Potential effects of wind turbines and justiciable solutions“.
- Technische Dokumentation zum 2D-Radar „ASR-S“ des Herstellers
- Technische Dokumentation des AFSBw zum ASR 910
- Ergebnisse einer BMU-Studie zum Störeinfluss von WEAs auf Radarsysteme zur Flugsicherung – Ergebnispräsentation von 09.12.2008.
- ICAO EUR Doc. 15 2<sup>nd</sup> Edition, September 2009
- ICAO – Doc 8071 – Manual on Testing of Radio Navigation Aids; Vol. III
- EUROCONTROL-Doc. “Assessment Methodology to Determine the Impact of Wind Turbines on ATC Surveillance Systems, Edition Number 0.4 (3.2.3 ff)”
- EUROCONTROL-Doc. "Wind farm impact assessment technique and mitigation measures, Edition 0.5
- Besprechung mit AFSBw im Rahmen des BMU – Fördervorhabens „ Fortführung WEA – Radarverträglichkeit“ vom 11.+12.05.2010
- Eurocontrol “ Guidelines from Wind turbine task force “ Version 1.0 from May 2010
- Abschlussbericht des BMU-Fördervorhaben „Fortführung WEA – Radarverträglichkeit“ von September 2011
- Datenaufzeichnung und Auswertung am Radar in Wittmund vom Typ ASR-S am Beispiel eines vorhandenen Windparks im Dezember 2015
- Besprechung beim Luftfahrtamt der Bundeswehr Referat 3 II e bzgl. der Bewertung für das ASR-S vom 19.01.2016
- Datenaufzeichnung und Auswertung am Radar in Schleswig vom Typ ASR-S am Beispiel zweier vorhandener Windparks im Juli 2016
- Mitteilung des BMVg vom Februar 2018: „Im Rahmen der bedarfsgerechten Schaltung fordert die Bundeswehr, dass Windenergieanlagen, welche eine Auflage zur Einrüstung einer bedarfsgerechten Schaltung erhalten, innerhalb

von 1 Minute in einen für das Radargerät störungsfreien Zustand übergehen müssen. Ob die Windenergieanlagen dabei im Pendelbetrieb langsam weiterrotieren oder gänzlich angehalten werden, entscheidet nicht die Bundeswehr, sondern der jeweilige Anbieter der bedarfsgerechten Schaltung. Wichtig ist, dass die Drehzahl soweit reduziert bleibt, dass sich die drehenden Rotorblätter nicht störend auf das Radargerät auswirken.“

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.

## **9 Aufgabenbeschreibung (Radar Wittmund)**

### **Beschreibung der grundsätzlichen Problematik:**

Beim Überflug über Windparks oder über mehrere Windenergieanlagen zeigen sich selbst bei modernen 2D-Radaranlagen, wie dem ASR-S Schwächungen der Primärzieldarstellung bei der Überwachung von Lfz-Bewegungen oder Lfz-Zielverluste für alle Flughöhen im direkten Umgebungsgebiet um WEAs. Es muss jedoch auch festgestellt werden, dass abhängig von der Verweildauer eines Lfz im entsprechend belasteten Luftraumgebiet oberhalb einzelner WEAs oder kleinerer isoliert stehender Windparks, diese nicht zwangsläufig als Ursache entsprechender Störungen wirksam werden. Abhängig von der zeitlichen Charakteristik der radarwirksamen Reflexionen, der Form und Materialität der Rotorblätter, kann eine deutlich geringere Störwirkung vorliegen.

Dagegen kann durch eine geringe Anzahl zusätzlicher WEAs eine räumliche Verknüpfung bisher „isolierter“ WEA-Gruppierungen geschaffen werden. In diesem Fall wird ein durch Störungen belastetes ausgedehntes Gebiet geschaffen, das vorher nicht wirksam war.

Ursache für mögliche Flugzielverluste ist die intensive Oberflächenreflexion sowie der dynamische RQS-Anteil von sehr großen Bauwerken mit bewegten Komponenten wie z. B. den Rotorblättern von Windkraftanlagen. Die bewegten Komponenten können aufgrund des dynamischen RQS und dessen Dopplercharakters nicht durch Verfahren wie Festzielunterdrückung in einem fest definierten Umgebungsbereich herausgefiltert werden. Dadurch wird eine Flugzielverfolgung / „Trackbildung“ in einem Umgebungsbereich oberhalb des Hindernisses stark eingeschränkt oder sogar fehlerhaft, da der RQS einer WEA den RQS eines Lfz deutlich übertrifft.

Bei Lfz wird daher die Trackbildung bzw. die Primärzieldarstellung deutlich beeinträchtigt, wenn die „Verweildauer“ dieses Lfz im durch die o. g. Reflexionsstörungen betroffenen Gebiet einen ausreichenden Zeitraum, z. B. zwei Antennenumdrehungs-

zeiten, überschreitet. Die Bewertung von WEAs erfolgt unter der Maßgabe, dass die zu betrachtenden Störzellen in einem definierten Polar Flächenraster (DCM- Zellen) vorliegen, welcher auf den Radarstandort ausgerichtet ist.

Die Wirkungsintensität dieser DCM-Zelle wird bestimmt durch die Reflexionsintensität und die bzgl. des Radarstandorts radialen Geschwindigkeitskomponenten des Rotorblattes. Da kleinere WEAs größere Rotorgeschwindigkeiten zeigen, stellt sich die Problematik für unterschiedlich große WEAs sehr ähnlich dar. Zudem sind die Anzahl und die Anordnung der WEAs innerhalb sowie außerhalb der betrachteten DCM-Zellen maßgeblich.

Eine herabgesetzte Reflektivität oder eine herabgesetzte radiale Geschwindigkeitskomponente der Rotoren der zu berücksichtigenden WEAs mindert zwangsläufig die Wirkungsintensität bzw. Relevanz einer Störzelle.

In diesem Zusammenhang ist die RQS-Bewertung eines WEA-Typs von besonderer Bedeutung, da bei einer WEA bauartbedingt nicht zwangsläufig eine 100%-ige Störwirkung angenommen werden kann.

Die DCM-Zelle mit  $1,8^\circ$  Breite und einer ca. 300 m großen radialen Ausdehnung (bei Entfernungen von weniger als 10,5 km beträgt die Dimension der DCM-Zellen ca.  $300\text{ m} \times 3,6^\circ$ ) im Bereich des Windparks beim ASR-S, ist in allen Flughöhen wirksam. Eine Filterung auf der Grundlage der charakteristischen Störeinflüsse der Windenergieanlagen unter Berücksichtigung des dynamischen Radarquerschnittes ist bisher mit 2D-Radaranlagen nicht möglich.

Im Hinblick auf moderne künftige Flugsicherungsradaranlagen kann eine Verbesserung der Primärzieldarstellung durch Verfahren wie

- verbesserte Tracker-Routinen,
- verbesserte räumliche Auflösung, sowie
- „adaptives Beamforming“

erwartet werden.

Aufgrund fehlender messtechnischer Nachweise unter betrieblichen Bedingungen wird bei der vorliegenden Windparkbewertung auf diese künftigen Möglichkeiten nicht zurückgegriffen.

Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass im Falle radarreflexionsarmer Rotorblätter bei WEAs die Voraussetzungen für eine gute Wirksamkeit WEA-optimierter „Tracker-Routinen“ gegeben wird, da die Intensitätsunterschiede zwischen dem dynamischen RQS eines WEA-Rotors und einem Lfz in gleicher Distanz und Richtung ausreichend herabgesetzt sind.

## **10 Untersuchungsverfahren (Radar Wittmund)**

Für die vorliegende Untersuchung der WEA-Anordnung im Gebiet Hiddels wird ein Bewertungsverfahren zugrunde gelegt, das sich auf die Auswertung von Beobachtungen des ASR-S auf der Grundlage heute bekannter Parameter stützt.

### **10.1 Bewertungsmethodik:**

Die technischen Erfordernisse für die Windenergieanlagen im Gebiet Hiddels erfolgen unter den Randbedingungen des Radarsystems ASR-S oder funktionsgleicher anderer Radarsysteme. Grundlage sind die WEA-Standorte gemäß der Koordinaten aus Tabelle 7.

1. Die Bewertung der WEAs erfolgt unter der Maßgabe, dass die zu betrachtenden durch WEAs beeinflussten Zellen in einem definierten Polar Flächenraster (DCM- Zellen) vorliegen, welcher auf den Radarstandort ausgerichtet ist. Beim ASR-S weist jede dieser DCM-Zellen in einer Entfernung zwischen 10,5 km und 70 km zum Radargerät  $299,7 \text{ m} \times 1,8^\circ$  auf. Bei Entfernungen von weniger als 10,5 km beträgt die Dimension der DCM-Zellen  $299,7 \text{ m} \times 3,6^\circ$ .
2. Die für die Bewertung angenommene Lfz-Überfluggeschwindigkeit wird mit 180 km/h (50 m/s) angegeben, dabei wird ein störrelevanter Trackverlust bei weniger als drei Antennenumdrehungen ausgeschlossen.

Die Beurteilung der Lfz-Verweildauer im Falle eines Überflugs über die Gesamtanordnung der WEA-Standorte gemäß Tabelle 7 führt auf eine Zunahme der Flugzielverluste infolge der durch WEAs beeinflussten DCM-Zellen (im Folgenden als Störzellen bezeichnet). Nach der Errichtung der WEAs sind bei Überflügen Flugzielverluste mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit der Überflugrichtung zu erwarten. Bei diesem Bewertungsverfahren wurden der Geländeeinfluss sowie die reale Erfassbarkeit von Windenergieanlagen entsprechend der Ergebnisse der BMU-Studie aus 2011 berücksichtigt.

3. Die tatsächliche Störrelevanz innerhalb einer Störzelle wird durch die Position bzw. die Anordnung der WEAs innerhalb und außerhalb der betrachteten Störzelle bestimmt. Zudem sind die Intensität und die zeitliche Änderung der Radarreflektivität bzw. des RQS (Radarrückstreuquerschnitt) einer WEA maßgeblich.

Von Bedeutung ist jedoch, dass der RQS der WEA eine Größenordnung zeigt, die deutlich über der Detektionsschwelle des ASR-S sowie anderer moderner 2D-Radarsysteme liegt, so dass eine Bewertung der WEA-Erfassung durchgeführt werden muss.

**Ein Lfz-Trackverlust ist gemäß den Forderungen und Festlegungen der Flugsicherung ab der dritten durch eine WEA gestörten Detektion mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit gegeben.**

Bei Radaranlagen der Flugsicherung wird für eine sichere Flugzielerfassung eine Wahrscheinlichkeit ( $P_{D \text{ Lfz}}$ ) von mindestens 90 % gefordert, die realiter diffizil zu erreichen ist.

Der oben gewählte Ansatz stellt im Hinblick auf die Bewertung von Überflügen über WEA einen Worst-case Ansatz dar.

So wäre eine Lfz-Zielverlustwahrscheinlichkeit von unter 10 % für die o. g. Forderung von mindestens 90 % für die  $P_{D \text{ Lfz}}$  rechnerisch ohne nachteilige Auswirkung. Dieser Ansatz wird jedoch im vorliegenden Fall nicht verfolgt, weil eine Anhebung der Falschalarmrate (FAR) in diesem Zusammenhang ebenfalls zu berücksichtigen ist.

## 10.2 Bewertungsprozedur:

1. Um jede WEA wird als ein möglicher Ort für Reflexionen ein Ortskreis mit der Größe des Rotordurchmessers angelegt.
2. Das Umgebungsgebiet um einen Radarstandort wird ab einer Entfernung zwischen 10,5 km und 70 km zum Radargerät in einem polaren Koordinatensystem durch DCM-Zellen mit jeweils 299,7 m radialer Ausdehnung, sowie mit einer Azimutausdehnung von  $1,8^\circ$  – bezogen auf den Radarstandort – gegliedert. Bei Entfernungen von weniger als 10,5 km beträgt die Dimension der DCM-Zellen  $299,7 \text{ m} \times 3,6^\circ$ .
3. Jede DCM-Zelle in dem sich der Ortskreis einer Windenergieanlage befindet, sowie die angrenzenden Zellen werden markiert. Die Festlegung, ob eine derart markierte DCM-Zelle als Störzelle interpretiert wird, setzt eine ausreichende Reflexionsintensität, d. h. „Radarquerschnitt“ der WEAs voraus, vgl. hierzu Kapitel 11.
4. Für jede markierte DCM-Zelle wird die Wahrscheinlichkeit der Darstellung eines Lfz mit einem Radarrückstreuquerschnitt von  $3 \text{ m}^2$  ermittelt und anschließend in einer Grafik farbig kodiert.
5. Es werden vier verschiedene Überflugpfade über das Gebiet mit farbig kodierten DCM-Zellen gelegt. Dabei werden bezogen auf das Radargerät ein Überflug Radial, einer Tangential und zwei unterschiedliche Diagonalüberflüge betrachtet. Die einzelnen Überflugpfade werden derart gewählt, dass jeweils die größte Lateraldimension der Störzellen der geplanten WEA abgedeckt wird. Diese Überflugpfade stellen damit ein sogenanntes „Worst-Case“-Szenario dar. Als Referenzgeschwindigkeit eines Lfz wird 180 km/h gewählt. Damit sind die typischen Reisefluggeschwindigkeiten auch kleiner Lfz berücksichtigt.

6. Für jeden Überflugpfad wird die Zielverlustwahrscheinlichkeit an diskreten Punkten berechnet. Die für die Bewertung angenommene Lfz-Überfluggeschwindigkeit beträgt hierbei 180 km/h (50 m/s).
7. Zulässig sind Erfassungsverluste bei maximal zwei direkt aufeinander folgenden Antennenorientierungen in Richtung WEA oder Windpark.
8. Ab dem dritten direkt aufeinander folgenden Erfassungsverlust besteht die Möglichkeit eines Trackverlustes.
9. Trackverlustwahrscheinlichkeiten für ein Lfz mit einem RQS von 3 m<sup>2</sup> bei einem Überflug von über 50 % sind gemäß den Forderungen und Festlegungen der Flugsicherung radartechnisch nicht zulässig. Ein RQS von 3 m<sup>2</sup> entspricht z. B. einem einmotorigen Sportflugzeug.
10. Die räumliche Separation zu einer benachbarten WEA-Gruppierung muss einen Abstand zeigen, der über mindestens drei Antennenumdrehungen eine störfreie neue Detektion des Lfz gewährleistet.

Bei Windenergieanlagen mit sehr großen Rotordurchmessern von über 100 m und geringerer Rotordrehzahl wurde festgestellt, dass eine durchgehende Störung trotz eines sehr großen Radarquerschnittwertes infolge langsamer Drehgeschwindigkeiten des Rotors bei bestimmten Windrichtungen nicht gegeben ist. Die Störwirkung ist in dem Fall herabgesetzt.

Liegt keine vertikale Orientierung eines Rotorblattes vor, zeigt sich ein offenbar ausreichend reduzierter dynamischer Radarquerschnitt bzw. Radarreflexionsintensität. Dadurch ist der zulässige Grenzwert für die Reflexionsintensität festgelegt. Eine WEA, deren dynamischer Radarquerschnitt diesen Grenzwert nicht überschreitet, generiert keinen zusätzlichen Störeinfluss.

## 11 Radarquerschnittanalyse (Radar Wittmund)

Der dynamische Radarquerschnitt zeigt abhängig von der Orientierung der Rotorblätter während der Umdrehung sehr unterschiedliche Werte, die bei vertikaler Orientierung eines Rotorblattes oder einer Rotorblattkante stets einen maximalen Reflexionswert für die z. B. bei vertikaler Polarisierung arbeitende Radarantenne zeigen.

Der RQS bzw. Rückstrahlfläche eines Objektes ist eine objektspezifische Größe, die für die Entdeckungswahrscheinlichkeit eines Objektes durch ein Radargerät ein wesentlicher Parameter ist. Sie ist abhängig von der Kubatur und der Wellenlänge bzw. vom Verhältnis der Strukturabmessungen des Körpers zur Wellenlänge. Quantitativ gibt der Radarquerschnitt eine effektive Fläche an, die die einlaufende Welle einfängt und isotrop in den Raum abstrahlt.

Der Radarquerschnitt  $\sigma$  ist definiert als

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{P_s}{P_i}$$

Dabei ist  $P_i$  die Leistungsdichte auf dem Radarziel und  $P_s$  die gestreute Leistungsdichte in einem Abstand  $R$  vom Radarziel.

Für eine WEA erfolgt die Berechnung des RQS auf der Grundlage einer computergestützten 3D-CAD Nachbildung gemäß beigestellter Konstruktionsunterlagen des Herstellers. Der RQS ist nur gültig für die Untersuchungsfrequenz sowie die angegebene nachgebildete Objektkubatur bzw. Oberflächenformgebung und Dimension unter Berücksichtigung der Materialien und Bauweisen sowie ggf. Mehrfachreflexionen zwischen Oberflächensegmenten.

Zur Gegenüberstellung mit einer WEA sind zur Orientierung typische RQS-Werte von Objekten nachstehend angegeben:

Vogel  $\approx 0,01 \text{ m}^2$

Mensch  $\approx 1 \text{ m}^2$

Einmotoriges Sportflugzeug ... leichtes Jagdflugzeug  $< 3 \text{ m}^2$

schweres Kampfflugzeug  $< 5 \text{ m}^2$

Verkehrsflugzeug  $\approx 40 \text{ m}^2$

Jumbojet / A 380  $\approx 100 \text{ m}^2$

Für ein großes Kampfflugzeug kann in dem Zusammenhang ein RQS von 5 bis  $6 \text{ m}^2$  angegeben werden. Ein Transportflugzeug zeigt einen RQS in der Größenordnung von ca.  $100 \text{ m}^2$ , ein kleines Passagierflugzeug zeigt einen RQS von ca.  $10 \text{ m}^2$ , ein Mensch/Ultraleichtfluggerät zeigt einen RQS in der Größenordnung von ca.  $1 \text{ m}^2$ .

## 11.1 Ermittlung des RQS der WEA

Die Ermittlung des RQS berücksichtigt die nachstehenden technischen Aspekte:

1. Die Objektstruktur einer WEA wird von der elektromagnetischen Welle nicht kohärent (phasengleich) erreicht. Grundsätzlich liegen gekrümmte Wellenfronten vor. Eine phasengleiche Erfassung eines Abschnittes eines Rotorblattes zum Beispiel liegt vor, wenn die Distanzunterschiede kleiner sind als  $1/8$  der Wellenlänge.

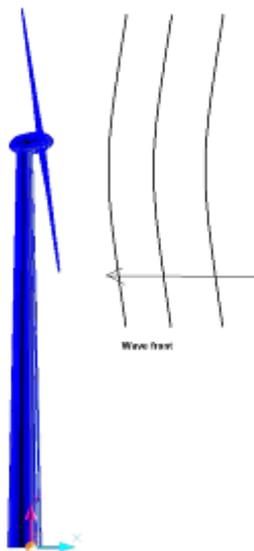


Abbildung 14: Schemabild zur Wellenfront.

2. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Radareinstrahlung auf die Windenergieanlage durch die Hauptkeule / Hauptrichtung innerhalb der Hauptkeule nicht mit gleicher Intensität erfolgt. Die Breite der Hauptkeule (Half power beam) wird für ca. 2,7 GHz-Systeme mit ca.  $3^\circ$  Breite angenommen. So liegt bei ca. 13 km Distanz eine Fläche von ca. 680 m Durchmesser im Raum vor.

Die Ermittlung des  $RQS_{dyn}$  der Rotoren für die geplanten Windenergieanlagen wurde nachstehend für eine Frequenz von ca. 2,7 GHz ermittelt. Der RQS über  $\phi/deg$  wird für eine vollständige Rotordrehung stets zwischen  $0^\circ$  und  $360^\circ$  bei einem Elevationswinkel von  $0^\circ$  bzgl. der Radarantenne und Rotornabe dargestellt.

Dabei wird die Oberfläche der Objektstruktur durch eine ausreichend große Anzahl ebener Dreieckflächenelemente nachgebildet – „trianguliert“. Zur Vermeidung unphysikalischer singulärer Einzelwerte, die bei jeweils rot angegebenen RQS-Rohdaten vorliegen, wird zur Bewertung ein Winkelintervall über 2° festgelegt. Die Medianwerte aus diesem Bereich sind durch die blaue Linie gekennzeichnet und werden nachfolgend zur Beurteilung herangezogen.

Die berücksichtigten Dimensionen für die neue Anlage Vestas V150 sind:

- Rotordurchmesser: max. ca. 150 m
- Säulenquerschnitt oben: ca. 3,3 m
- Gondeldimension: ca. 4,5 m x 20,9 m
- Betriebsrotordrehzahl: 4,89-10,13 U/min

Unter Berücksichtigung der Antennenumdrehungszeit des Radarsystems ASR-S ist die Möglichkeit einer Detektion der WEA mit einer zeitlichen Rate von ca. 5 Sekunden gegeben. Zugleich muss für die Reflexionsintensität der WEA eine ausreichende Intensität vorliegen. Diese unterliegt unter Berücksichtigung der Rotordrehzahl ebenfalls einer zeitlichen Änderung.

Vestas V150:

Monostatischer RQS WEA Vestas\_V150  
 $f = 2.7 \text{ GHz}$ ;  $\theta = 90.0 \text{ Grad}$ ;  $\phi = 10.0000 \text{ Grad}$ ; Polarisation VV  
Medianwert ueber ein Winkelintervall von 2 Grad

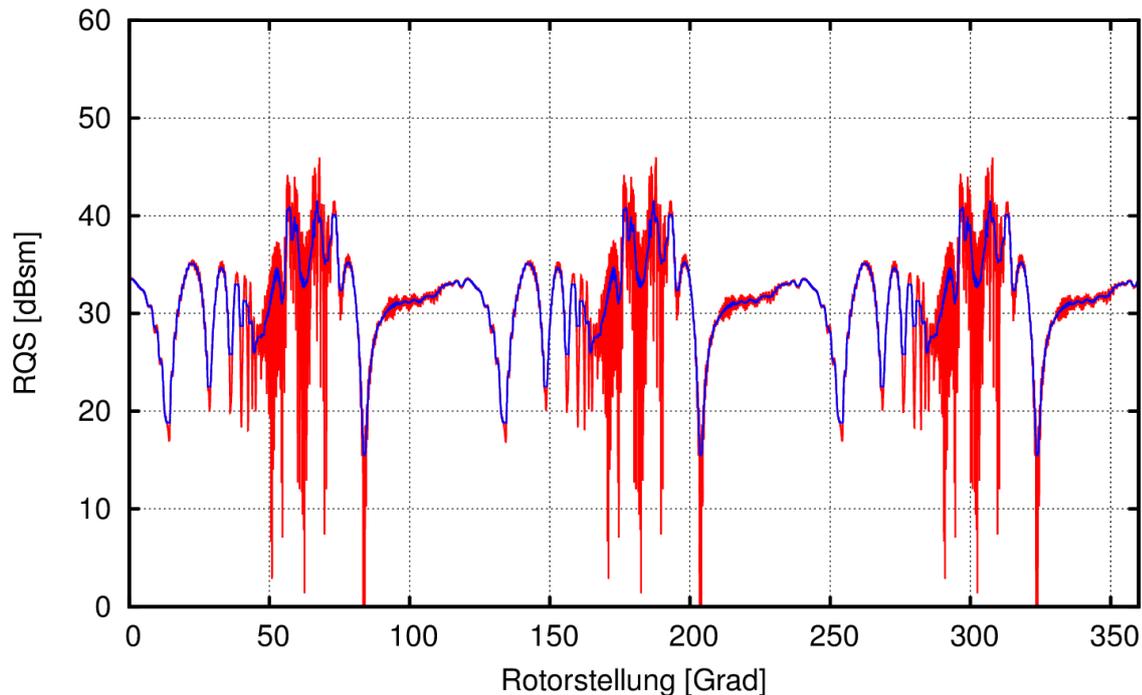


Abbildung 15:  $RQS_{\text{dyn}}$  über eine Rotordrehung für den geplanten Typ Vestas V150

Der Winkel zwischen Rotorachse und dem Richtungsvektor zur Radaranlage ist bei den nachfolgenden Ergebnissen mit  $10^\circ$  angenommen, da dieser Fall die Situation für die Berücksichtigung der Windrichtung von  $308^\circ$  im Windpark darstellt. Als weiterer Winkel zwischen Rotorachse und Radaranlage wurde  $330^\circ$ , entsprechend einer Windrichtung im Bereich von  $268^\circ$ , gewählt – vgl. Abbildung 16.

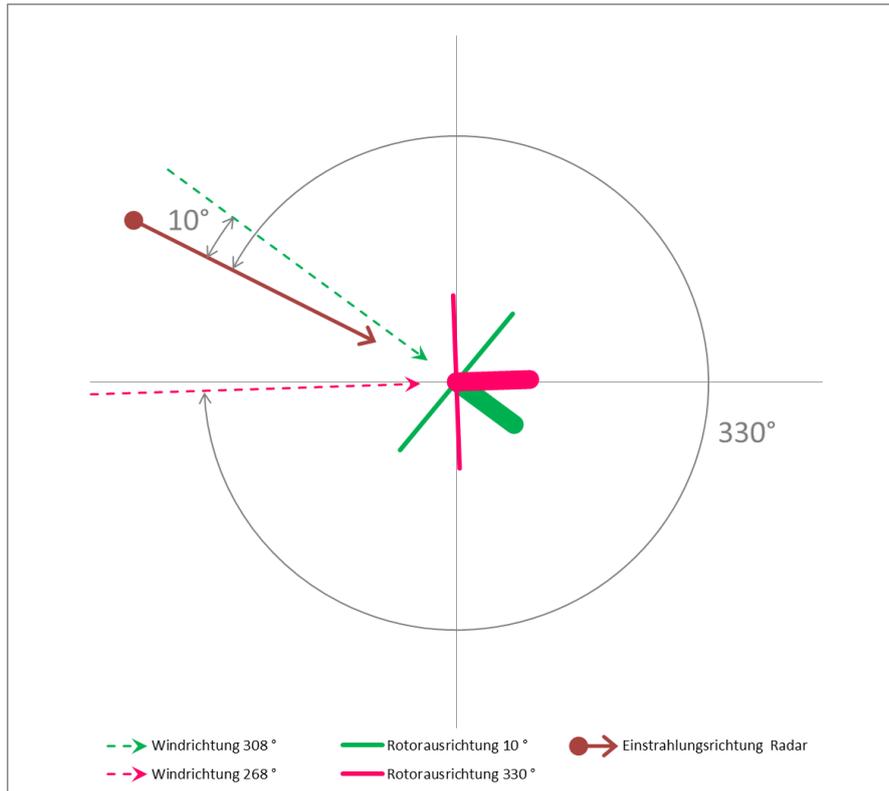


Abbildung 16: Ausrichtung der Windenergieanlagen zum Radar

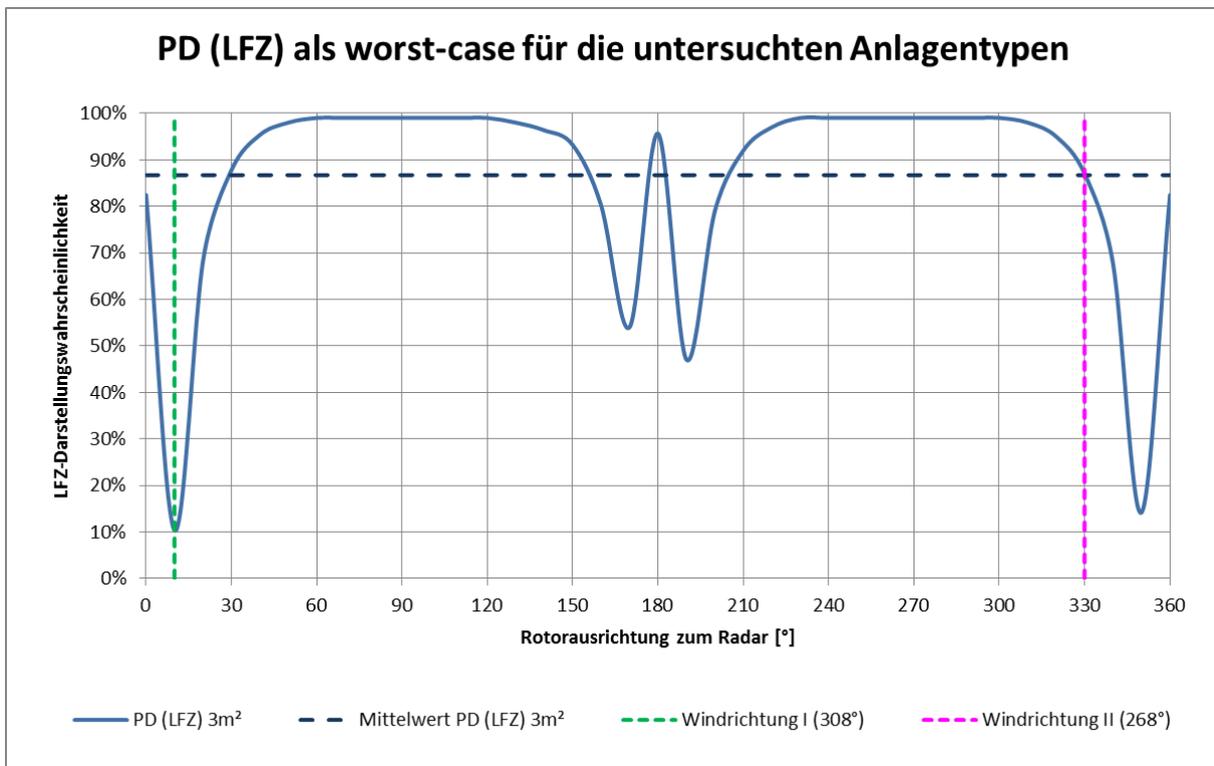


Abbildung 17: PD (Lfz) als worst-case für die untersuchten Anlagentypen

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

Die Berücksichtigung der Windrichtung II stellt für den Richtungsbezug des Windparks Hiddels eine Situation dar, die dem Mittelwert der Lfz-Darstellungswahrscheinlichkeit für ein Lfz von 3 m<sup>2</sup> entspricht. Die Windrichtung I von 308° gibt die Situation bei sehr geringer Lfz-Darstellungswahrscheinlichkeit als Worst-Case wieder, bei dieser Orientierung ist die Reflexionsintensität des Rotors sehr stark, vgl. Abbildung 17.

Die Untersuchung wird für die Windrichtungen 308° und 268° durchgeführt, um bzgl. der Lfz-Darstellungswahrscheinlichkeit den Worst-Case sowie den Mittelwert abzudecken. Bei einer Rotororientierung von 268° zeigt der Rotor eine mittlere Reflexionsintensität, die zugleich den Mittelwert über alle Orientierung, d.h. über alle Windrichtungen entspricht.

## **12 Bewertung des Gesamteinflusses der WEA-Gruppe bzgl. „Störzellen“ (Radar Wittmund)**

Ein Radargerät vom Typ ASR-S besitzt zur Unterdrückung von stationären Zielen „mit Dopplerverschiebung“ eine sogenannte Doppler-Clutter-Map (DCM-Map). Zur Ermittlung der Luftraumgebiete (DCM-Zellen), in denen ein möglicher Zielverlust nicht ausgeschlossen werden kann, wird nicht nur der Standort der WEA-Säule selbst betrachtet, sondern es wird zusätzlich um jeden WEA-Standort ein „Ortskreis“ mit der Größe des Rotordurchmessers eingetragen. Hierdurch werden alle potentiellen Reflexionsorte vom Rotor berücksichtigt.

Nachfolgend wird für jede betroffene DCM-Zelle, sowie die angrenzenden Zellen, die Darstellungswahrscheinlichkeit für bestimmte Radarrückstreuquerschnitte des Ziels berechnet. Die Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz mit einem RQS von 3 m<sup>2</sup> für jede betroffene DCM-Zelle ist im Kapitel 13.1 und 13.2 dargestellt.

Ein RQS von 3 m<sup>2</sup> entspricht z. B. einem einmotorigen Sportflugzeug oder einem leichten Jagdflugzeug. Bei größeren RQS-Werten eines Lfz würden sich die nachfolgenden Ergebnisse günstiger darstellen. Ein kleinerer RQS-Wert von ca. 1 m<sup>2</sup> wie z. B. von einem Ultraleichtfluggerät oder einer größeren Drohne würde zu ungünstigeren Ergebnissen führen. Der Fall, dass sich ein Ultraleichtfluggerät/Drohne unmittelbar über oder in einem Windpark aufhält, ist jedoch aufgrund der Turbulenzen durch die Windenergieanlagen sehr unwahrscheinlich.

Über diese betroffenen DCM-Zellen werden verschiedene Flugpfade gelegt. Die gewählten Flugpfade stellen jeweils die ungünstigsten Überflugpfade für die jeweilige Überflugrichtung dar, die bezogen auf die Störzellenanordnung möglich ist. Es sei darauf hingewiesen, dass abhängig vom Flugpfad im Detail deutlich unkritischere Überflugszenarien vorliegen. In der Regel hat eine Abweichung vom hier angenommenen Worst-Case-Überflugpfad eine oft sogar deutlich günstigere Situation zur Folge, bezogen auf die resultierende Störwahrscheinlichkeit. Oft sind Abweichungen von nur 50 m bis 100 m ausreichend, um die Problematik entscheidend zu entschär-

fen. Dies gilt in umso höherem Maße bei separiert gelegenen Störzellen und umso weniger, je verdichteter das Störzelligebiet beschaffen ist.

Die Überflugpfade kennzeichnen infolge der festgelegten Überfluggeschwindigkeit von 50 m/s durch blaue Punkte die Detektionsereignisse, die infolge der zeitlichen Abtastung durch die drehende Radarantenne möglich sind. Der Abstand der Detektionspunkte kann beim ASR-S mit 250 m angegeben werden.

Eine vergleichbare Überflugbetrachtung für eine deutlich höhere Überfluggeschwindigkeit von z. B. 100 m/s  $\approx$  360 km/h kann bei ausschließlicher Betrachtung des jeweils zweiten blauen Punktes erfolgen.

Für die vorliegende WEA-Anordnung werden vier verschiedene Überflugpfade jeweils in unterschiedlichen Richtungen analysiert. Die einzelnen durch WEAs belasteten Störzellen bilden eine gemeinsame Störzone. Einschwenkvorgänge wurden ebenfalls untersucht, führen im vorliegenden Fall jedoch nicht zu abweichenden Ergebnissen, da die gewählten Überflugpfade die ungünstigsten Situationen wiedergeben.

Die Bewertung der einzelnen Überflugszenarien entlang der gekennzeichneten Flugpfade orientiert sich an den blau gekennzeichneten Detektionsorten. An diesen Orten wird für die Überflugbewertung die Lfz-Position angenommen, an der ein Lfz durch die Radarortungsanlage erfasst und ggf. zeit- und ortsgleich mit der nächstgelegenen Windenergieanlage detektiert wird. Diese zeit- und ortsgleiche Detektion kann zu einem Lfz-Zielverlust mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit führen, die sehr stark durch die Störintensität der Windenergieanlagen bestimmt wird.

Der Flugpfad eines Lfz unterliegt beim Überflug in das Luftraumgebiet oberhalb der Windenergieanlagen gemäß den Forderungen und Festlegungen der Flugsicherung ab der dritten durch eine WEA gestörten Detektion einer bestimmten Verlustwahrscheinlichkeit bzgl. der Lfz-Zielerkennung.

Weiter kann auf dieser Grundlage eine Aussage getroffen werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit grundsätzlich von einem Zielverlust sowie einem Trackverlust während eines Überfluges ausgegangen werden kann. Nach einem Trackverlust sind in direkter Folge drei ungestörte Detektionsereignisse notwendig, um eine neue Lfz-Trackgenerierung zu ermöglichen.

Abhängig von der Störintensität und der Länge des Flugpfades oberhalb eines Windenergieanlagengebietes ist weiter eine Aussage möglich, mit welcher Wahrscheinlichkeit Zielverluste unterschiedlicher Länge – zeitlich und räumlich – zu erwarten sind. Insbesondere bei der Planung von zusätzlichen Windenergieanlagen im räumlichen Zusammenhang mit bestehenden Anlagen oder bei Repowering-Vorhaben kommt diesem Aspekt eine besondere Bedeutung zu, um die Änderung und die Auswirkung für die Flugsicherung zu beurteilen:

- Der Zeitabschnitt eines Lfz-Trackverlustes ist somit nicht zwangsläufig identisch mit dem Zeitraum, den ein Lfz für den Überflug über ein Störzellengebiet benötigt.
- Auch sind die notwendigen Separationsabstände zwischen benachbarten WEA-Gebieten ebenfalls nicht identisch mit drei Detektionsabständen.

Beide Sachverhalte werden durch die Störintensität der einzelnen WEA und deren räumlicher Anordnung bestimmt, die räumliche Lücken bei den Störzellen bewirken können.

Diese Ergebnisse sind nachstehend für jedes Überflugszenario angegeben.

In den nachfolgenden Kapiteln erfolgt eine farbige Kodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz mit einem Radarrückstreuquerschnitt von  $3 \text{ m}^2$ , auf Grundlage der vom Radarhersteller überlassenen Beschreibung der Signalverarbeitung.

Am Radarschirm der ASR-S lässt sich eine Darstellung der DCM-Zellen einstellen. Diese Darstellung ist üblicherweise nicht eingeschaltet. Die Visualisierung der DCM-Zellen wurde hierbei seitens des Herstellers empirisch zur Darstellung für einen

Lotsen eingestellt. Die Farben entstehen aus einer „Übersetzungstabelle“ in der ASR-S Auswerteeinheit, die die typisch am BW-Standort auftretenden Amplituden der vom SIP gelieferten DCM in Farben übersetzt. Hierbei ist zu beachten, dass das ASR-S sechs parallele DCM-Maps für die sechs Bewegziel-Dopplerfilter besitzt. Farblich dargestellt wird je DCM-Zellenposition jedoch nur ein Element, welches aus den Pegeln in diesen sechs Dopplerfiltern gebildet wurde. Daraus eine direkte Aussage bzgl. der Verlustrate abzuleiten ist somit nicht möglich, da u.a. die Abhängigkeit von dem jeweils stimulierten Dopplerfilter unterschlagen wird.

Zudem ist der RQS eines zu betrachtenden Lfz bei der farblichen Darstellung der DCM-Zellen am Radarschirm nicht berücksichtigt. Für eine Aussage zur Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz ist dieser aber notwendig.

### **13 DCM-Störzellenbewertung (Radar Wittmund)**

Untersucht wurden die Situationen „Bestand“, „Planung“ und „Abschaltung“ bei beiden untersuchten Windrichtungen, sowie zusätzlich „Steuerfkt. opt“ bei der Windrichtung II. Die hierbei berücksichtigten Betriebszustände der Windenergieanlagen sind nachfolgend angegeben.

#### Situation „Bestand“:

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Rückbau benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

#### Situation „Planung“ :

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Planung benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

#### Situation „Abschaltung.“:

Die in Tabelle 7 mit Bestand benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

#### Situation „Steuerfkt. opt“:

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Planung benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt. Die Planungsanlagen sind dabei mit der angegebenen Rotordrehzahlbegrenzung berücksichtigt.

## 13.1 Betrachtung der Windrichtung I (Bereich um 308°)

### 13.1.1 Situation „Bestand“

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Rückbau benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

Die Abbildung 18 zeigt die farbige Kodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz mit einem Radarrückstreuquerschnitt von  $3 \text{ m}^2$  für die Situation „Bestand“.

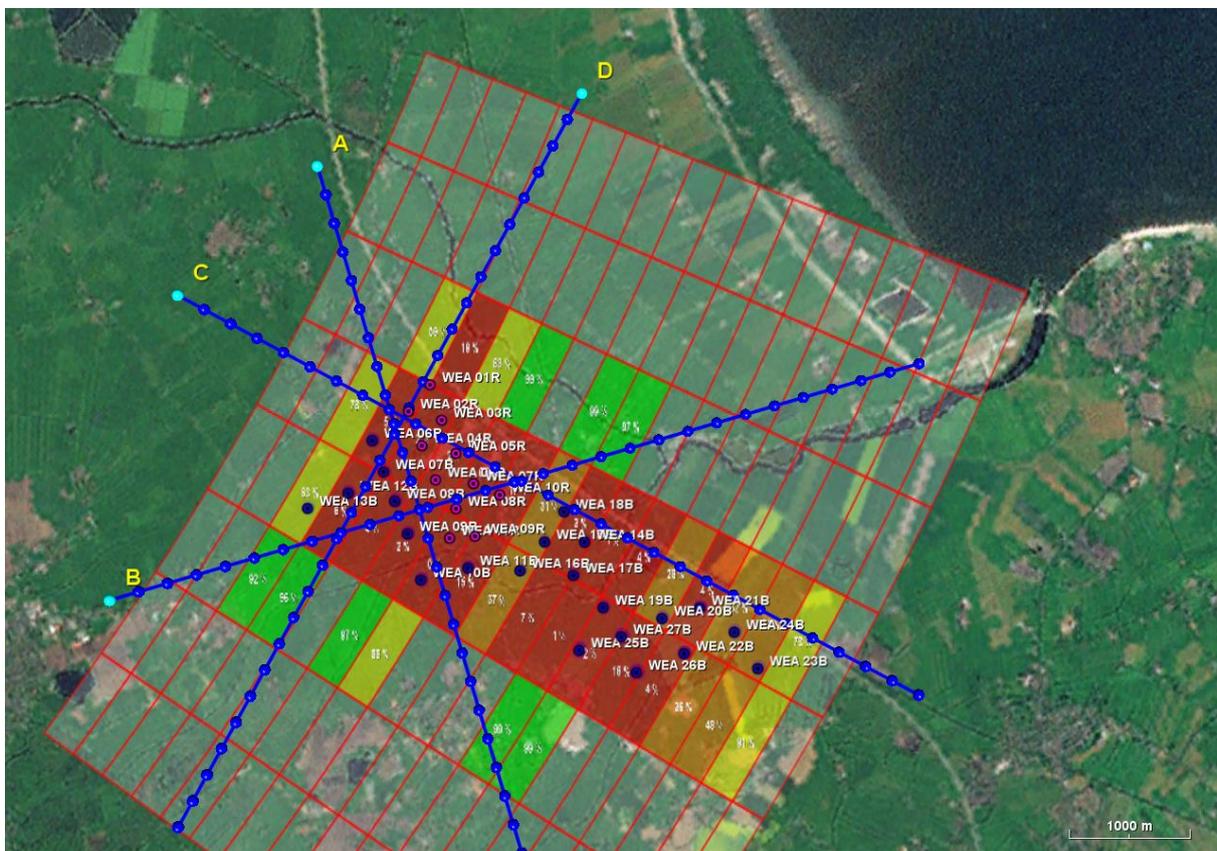


Abbildung 18: Übersicht über die Situation „Bestand“. Farblich kodiert sind die DCM-Zellen nach der Wahrscheinlichkeit der Darstellung eines Lfz mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$ . Zusätzlich sind die „Worst-Case“-Überflugpfade durch blaue Linien dargestellt. Die Ermittlung der Ziel- bzw. Trackverlustwahrscheinlichkeit erfolgt an den blauen Punkten.

Die Farbkodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz geschieht nach der folgenden Systematik:

- 0 % - 19 % = rot
- 20 % - 49 % = orange
- 50 % - 89 % = gelb
- 90 % - 100 % = grün

Die gewählten Überflugpfade (blaue Linien) über den geplanten Windpark stellen ein sogenanntes „Worst-Case“-Szenario dar. Dabei wird die Trackverlustwahrscheinlichkeit eines Lfz an den mit blauen Punkten gekennzeichneten Orten ermittelt.

Die Pfade sind hierbei:

- A = Diagonal A
- B = Diagonal B
- C = Radial
- D = Tangential

Die Überfluggeschwindigkeit des Lfz wird mit 50 m/s angenommen.

### **Flugpfad A: Diagonal A von Nordnordwest nach Südsüdost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad A kann die Länge des Pfades mit 10 Detektionen, entsprechend 2.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 9 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 100 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 10 Detektionen über 50 %.

### **Flugpfad B: Diagonal B von Westsüdwest nach Ostnordost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad B kann die Länge des Pfades mit 14 Detektionen, entsprechend 3.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 12 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 100 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 11 Detektionen über 50 %.

### **Flugpfad C: Radial von Westnordwest nach Ostsüdost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad C kann die Länge des Pfades mit 18 Detektionen, entsprechend 4.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 17 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 100 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 16 Detektionen über 50 %.

### **Flugpfad D: Tangential von Nordnordost nach Südsüdwest oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad D kann die Länge des Pfades mit 14 Detektionen, entsprechend 3.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 12 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 100 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 10 Detektionen über 50 %.

### 13.1.2 Situation „Planung“

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Planung benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

Die Abbildung 19 zeigt die farbige Kodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz mit einem Radarrückstreuquerschnitt von  $3 \text{ m}^2$  für die Situation „Planung“.

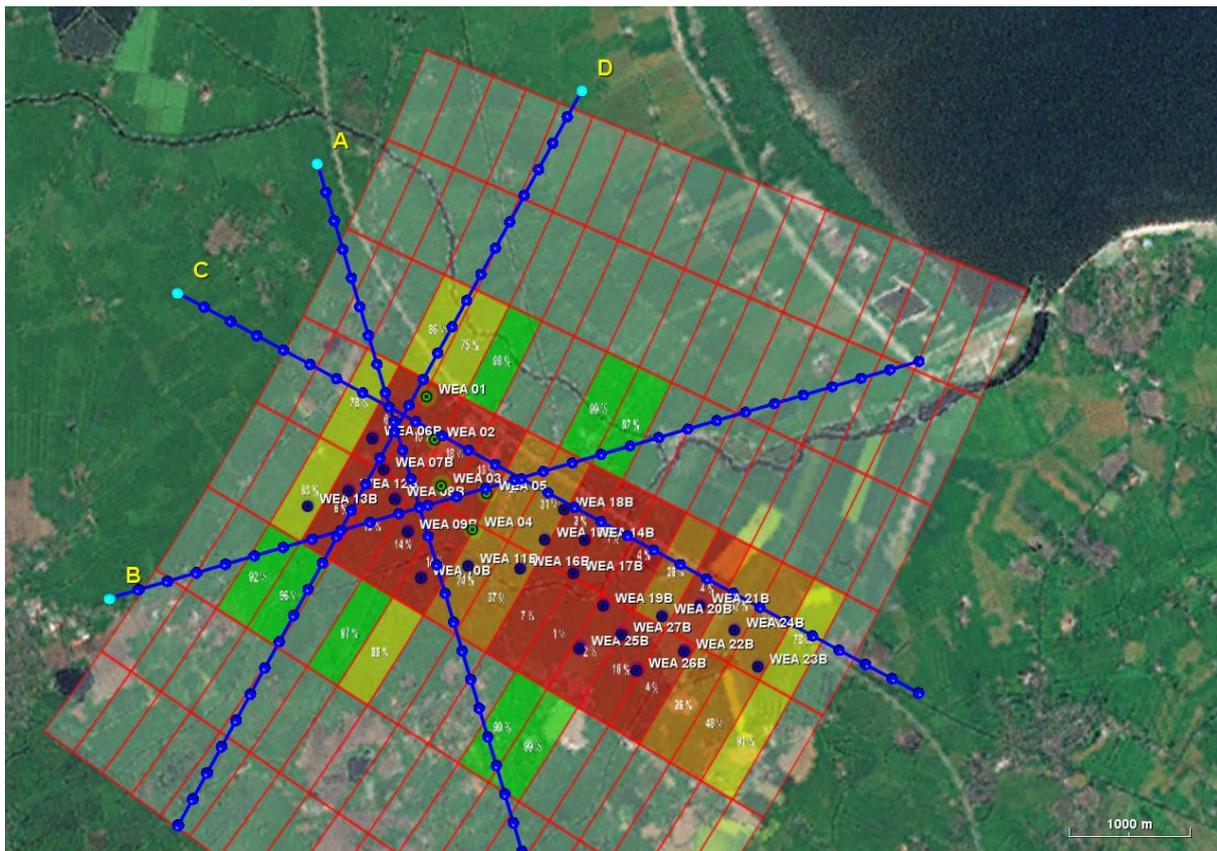


Abbildung 19: Übersicht über die Situation „Planung“. Farblich kodiert sind die DCM-Zellen nach der Wahrscheinlichkeit der Darstellung eines Lfz mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$ . Zusätzlich sind die „Worst-Case“-Überflugpfade durch blaue Linien dargestellt. Die Ermittlung der Ziel- bzw. Trackverlustwahrscheinlichkeit erfolgt an den blauen Punkten.

Die Farbkodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz geschieht nach der folgenden Systematik:

- 0 % - 19 % = rot
- 20 % - 49 % = orange
- 50 % - 89 % = gelb
- 90 % - 100 % = grün

Die gewählten Überflugpfade (blaue Linien) über den geplanten Windpark stellen ein sogenanntes „Worst-Case“-Szenario dar. Dabei wird die Trackverlustwahrscheinlichkeit eines Lfz an den mit blauen Punkten gekennzeichneten Orten ermittelt.

Die Pfade sind hierbei:

- A = Diagonal A
- B = Diagonal B
- C = Radial
- D = Tangential

Die Überfluggeschwindigkeit des Lfz wird mit 50 m/s angenommen.

### **Flugpfad A: Diagonal A von Nordnordwest nach Südsüdost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad A kann die Länge des Pfades mit 10 Detektionen, entsprechend 2.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 9 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 100 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 10 Detektionen über 50 %.

### **Flugpfad B: Diagonal B von Westsüdwest nach Ostnordost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad B kann die Länge des Pfades mit 14 Detektionen, entsprechend 3.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 12 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 99,98 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 11 Detektionen über 50 %.

### **Flugpfad C: Radial von Westnordwest nach Ostsüdost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad C kann die Länge des Pfades mit 18 Detektionen, entsprechend 4.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 17 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 100 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 16 Detektionen über 50 %.

### **Flugpfad D: Tangential von Nordnordost nach Südsüdwest oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad D kann die Länge des Pfades mit 14 Detektionen, entsprechend 3.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 11 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 99,99 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 10 Detektionen über 50 %.

### 13.1.3 Situation „Abschaltung“

Die in Tabelle 7 mit Bestand benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

Die Abbildung 20 zeigt die farbige Kodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz mit einem Radarrückstreuquerschnitt von  $3 \text{ m}^2$  für die Situation „Abschaltung“.

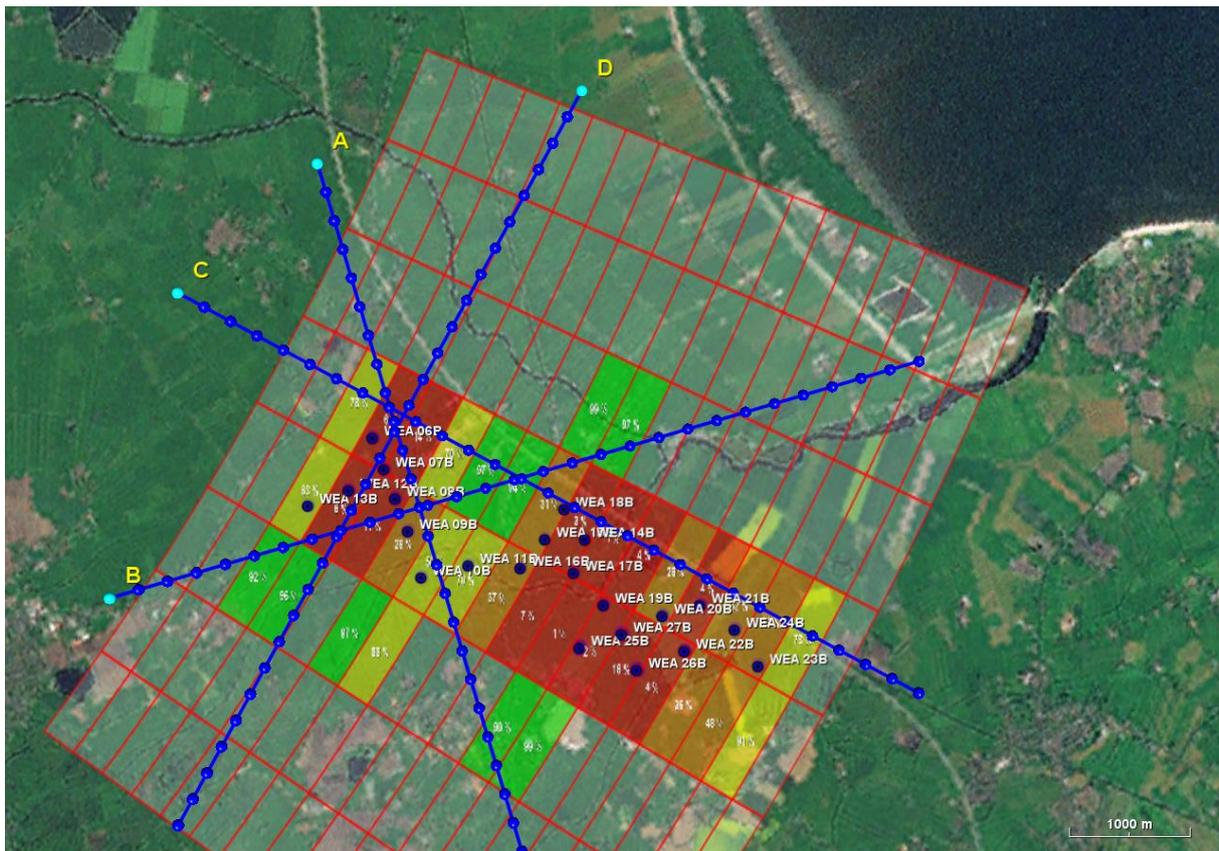


Abbildung 20: Übersicht über die Situation „Abschaltung“. Farblich kodiert sind die DCM-Zellen nach der Wahrscheinlichkeit der Darstellung eines Lfz mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$ . Zusätzlich sind die „Worst-Case“-Überflugpfade durch blaue Linien dargestellt. Die Ermittlung der Ziel- bzw. Trackverlustwahrscheinlichkeit erfolgt an den blauen Punkten.

Die Farbkodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz geschieht nach der folgenden Systematik:

- 0 % - 19 % = rot
- 20 % - 49 % = orange
- 50 % - 89 % = gelb
- 90 % - 100 % = grün

Die gewählten Überflugpfade (blaue Linien) über den geplanten Windpark stellen ein sogenanntes „Worst-Case“-Szenario dar. Dabei wird die Trackverlustwahrscheinlichkeit eines Lfz an den mit blauen Punkten gekennzeichneten Orten ermittelt.

Die Pfade sind hierbei:

- A = Diagonal A
- B = Diagonal B
- C = Radial
- D = Tangential

Die Überfluggeschwindigkeit des Lfz wird mit 50 m/s angenommen.

### **Flugpfad A: Diagonal A von Nordnordwest nach Südsüdost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad A kann die Länge des Pfades mit 10 Detektionen, entsprechend 2.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 9 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 99,03 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 7 Detektionen über 50 %.

### **Flugpfad B: Diagonal B von Westsüdwest nach Ostnordost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad B kann die Länge des Pfades mit 14 Detektionen, entsprechend 3.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 12 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 97,90 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 7 Detektionen über 50 %.

### **Flugpfad C: Radial von Westnordwest nach Ostsüdost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad C kann die Länge des Pfades mit 18 Detektionen, entsprechend 4.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 17 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 100 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 16 Detektionen über 50 %.

### **Flugpfad D: Tangential von Nordnordost nach Südsüdwest oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad D kann die Länge des Pfades mit 11 Detektionen, entsprechend 2.500 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 11 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 99,99 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 7 Detektionen über 50 %.

#### **13.1.4 Zusammenfassende Beurteilung der verschiedenen Überflugs-Szenarien:**

**Bei allen hier durchgeführten Untersuchungen ist zu beachten, dass es sich um sogenannte „Worst-Case“-Szenarien handelt. Das bedeutet, dass ein etwaiger realer Überflug genau diese hier dargestellten Richtungen aufweisen müsste. Dabei ist bei einer auch nur geringfügigen Abweichung von wenigen Metern von diesem Worst-Case-Szenario von einer zum Teil sehr viel geringeren Zielverlustwahrscheinlichkeit auszugehen.**

Grundlage sind die technischen Erfordernisse des Radarsystems ASR-S oder funktionsgleicher anderer Radarsysteme, sowie die WEA-Standorte gemäß Tabelle 7.

Untersucht wurden die Situationen „Bestand“, „Planung“ und „Abschaltung“. Die hierbei berücksichtigten Betriebszustände der Windenergieanlagen sind nachfolgend angegeben.

##### Situation „Bestand“:

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Rückbau benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

##### Situation „Planung“ :

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Planung benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

##### Situation „Abschaltung.“:

Die in Tabelle 7 mit Bestand benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

Auf der Grundlage der durchgeführten Überflugbewertungen bzgl. zu erwartender Trackverlustwahrscheinlichkeiten von Lfz kann festgestellt werden, dass bei allen untersuchten Situationen und Überflügen ein Störzelligebiet vorliegt, bei dem bzgl. der Radaranlage Wittmund Trackverlustwahrscheinlichkeiten für ein Lfz mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$  von über 50 % vorliegen. Die Abschaltung der geplanten Windenergieanlagen bei der Windrichtung I zeigt aufgrund der starken Belastung durch den Bestand keine nennenswerten Vorteile gegenüber der geplanten Situation.

Trackverlustwahrscheinlichkeiten von über 50 % sind für ein Lfz mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$  bei einem Überflug gemäß den Forderungen und Festlegungen der Flugsicherung radartechnisch nicht zulässig. Ein RQS von  $3 \text{ m}^2$  entspricht z. B. einem einmotorigen Sportflugzeug.

Nachfolgend sind die Trackverlustwahrscheinlichkeiten für ein Lfz mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$  für die Situation „Bestand“, die Situation „Planung“ sowie die Situation „Abschaltung“ gegenübergestellt. Die Kurven der verschiedenen Situationen sind teilweise deckungsgleich, sodass nicht immer alle Kurven durchgängig zu erkennen sind.

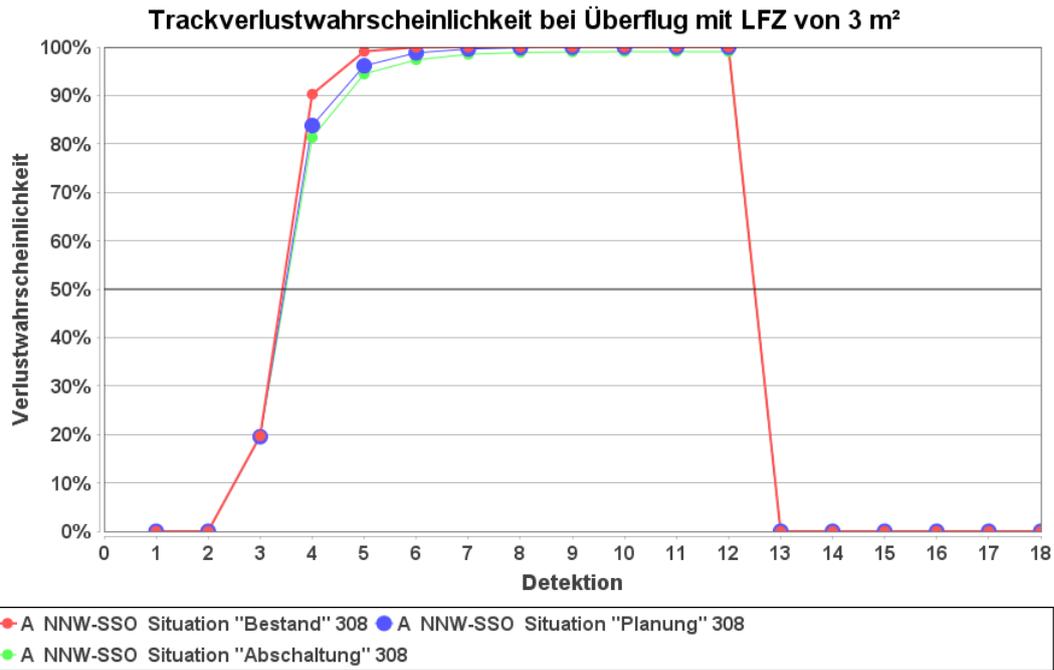


Abbildung 21: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad A)

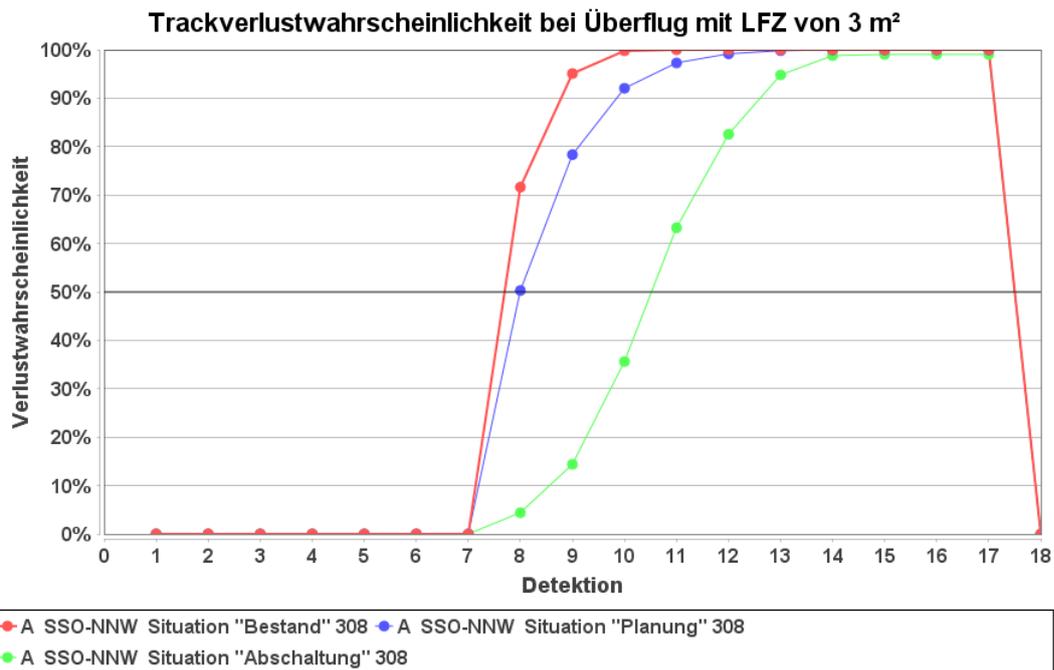


Abbildung 22: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad A) Gegenrichtung

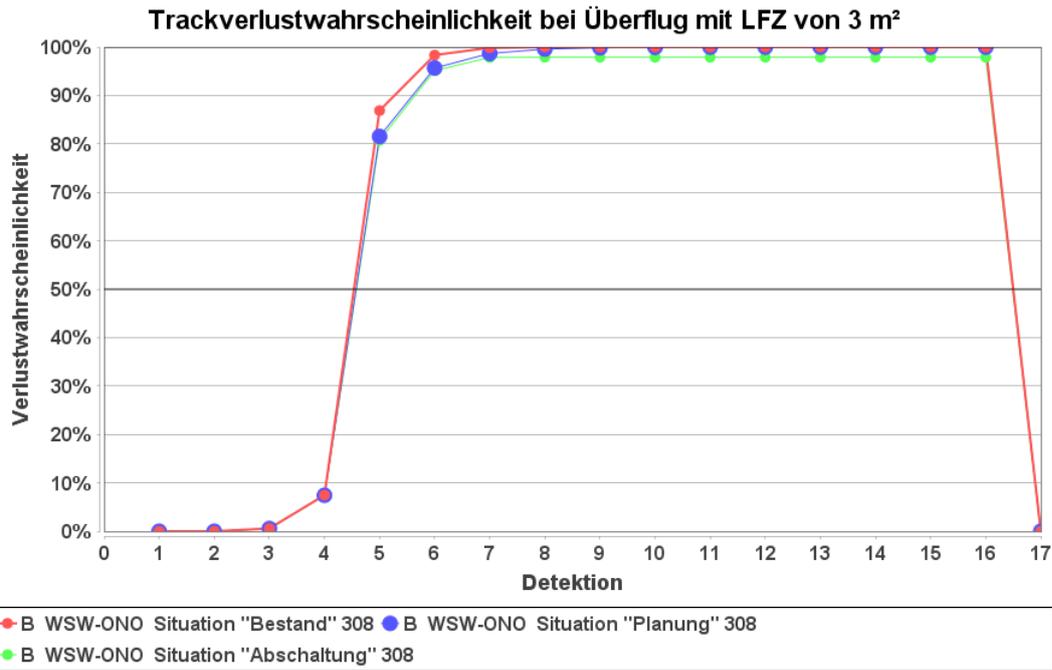


Abbildung 23: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad B)

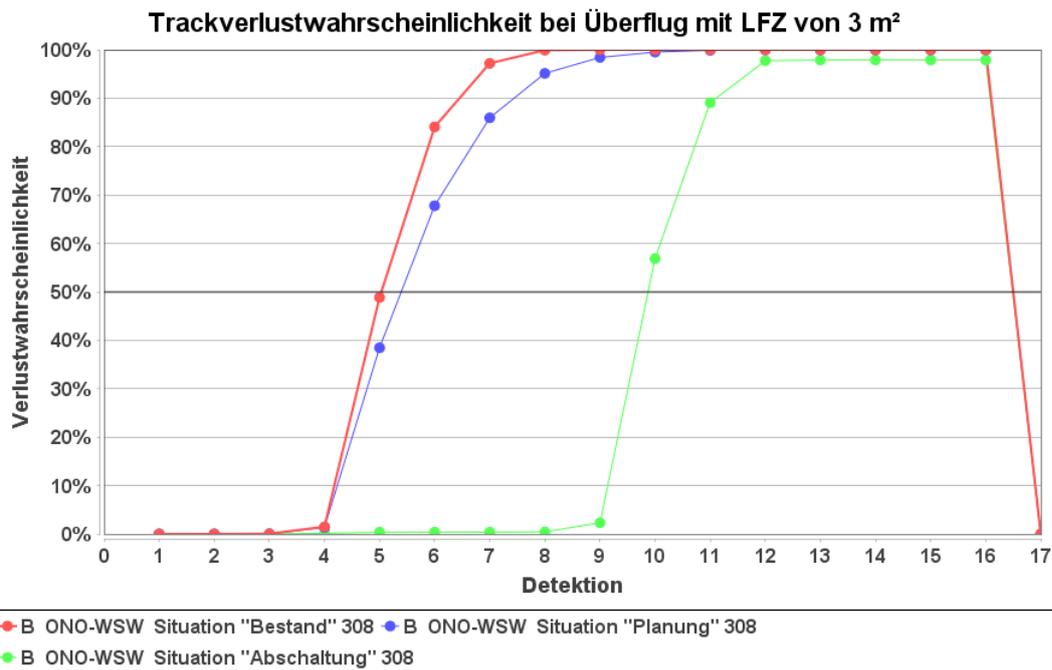


Abbildung 24: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad B) Gegenrichtung

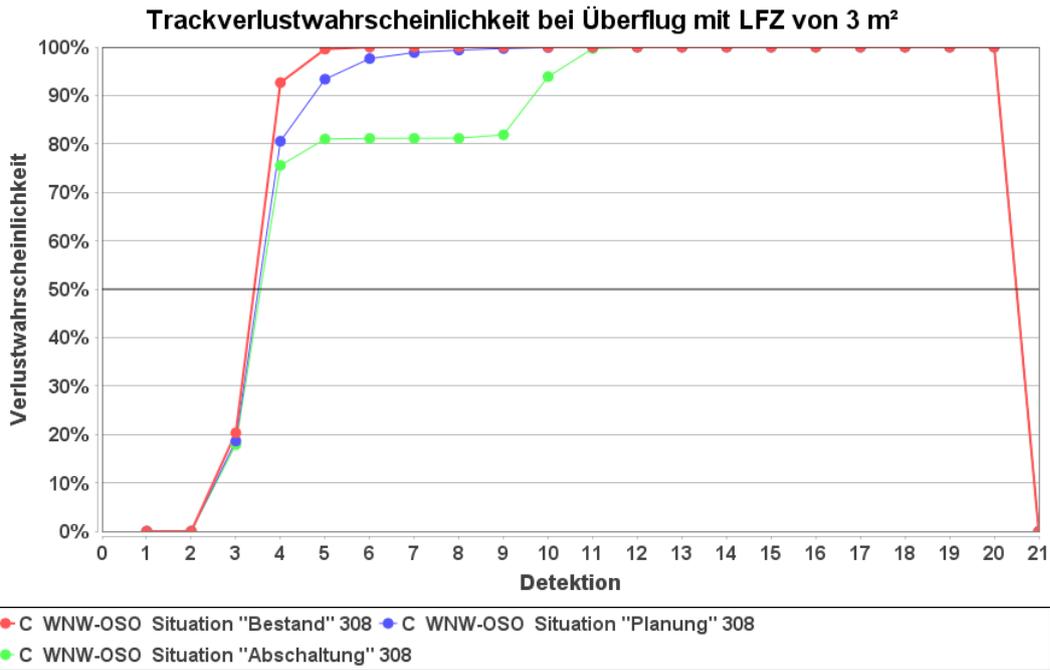


Abbildung 25: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad C)

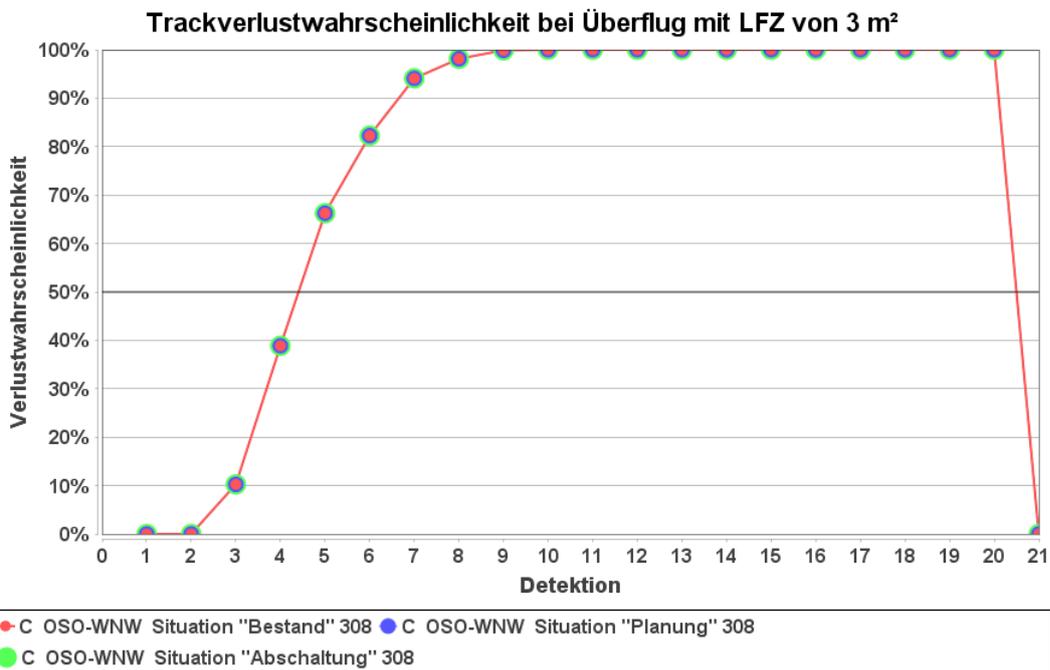


Abbildung 26: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad C) Gegenrichtung

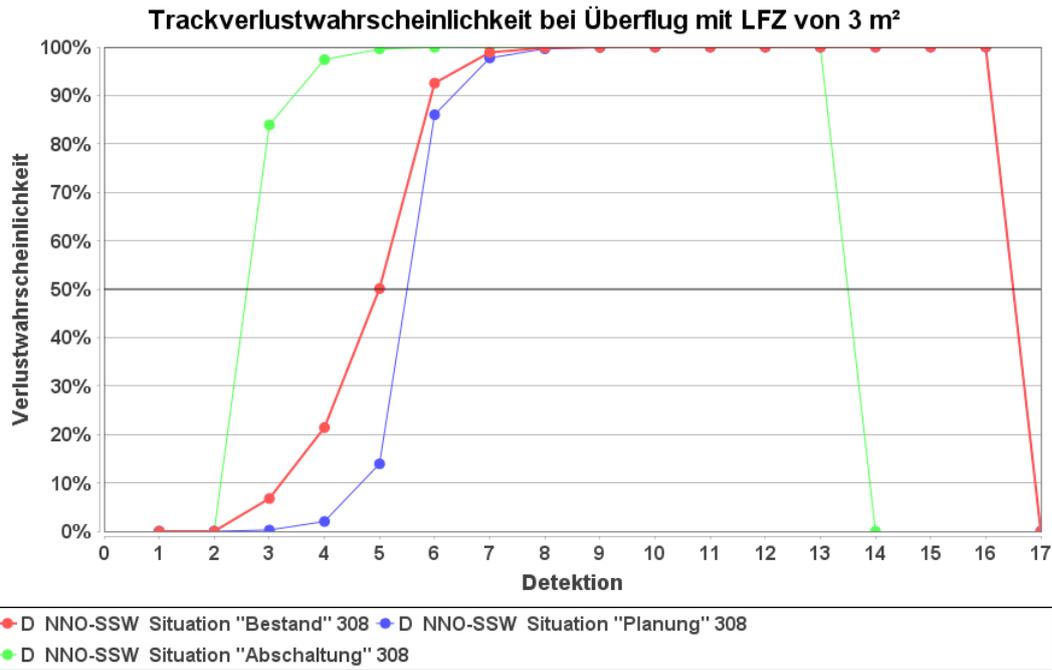


Abbildung 27: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad D)

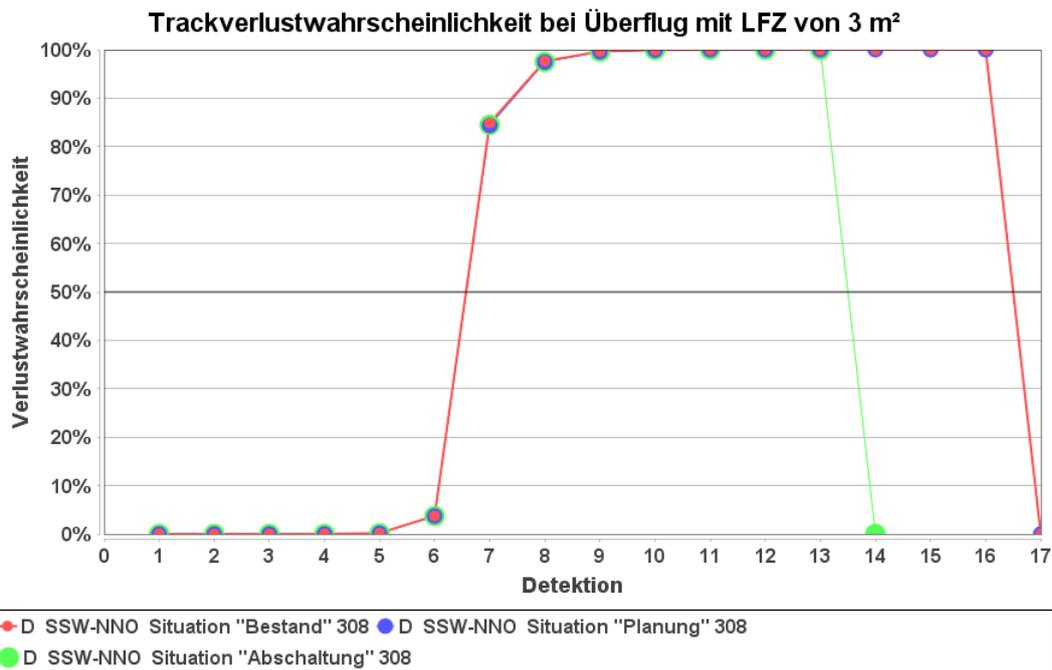


Abbildung 28: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad D) Gegenrichtung

## 13.2 Betrachtung der Windrichtung II (Bereich um 268°)

### 13.2.1 Situation „Bestand“

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Rückbau benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

Die Abbildung 29 zeigt die farbige Kodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz mit einem Radarrückstreuquerschnitt von  $3 \text{ m}^2$  für die Situation „Bestand“.

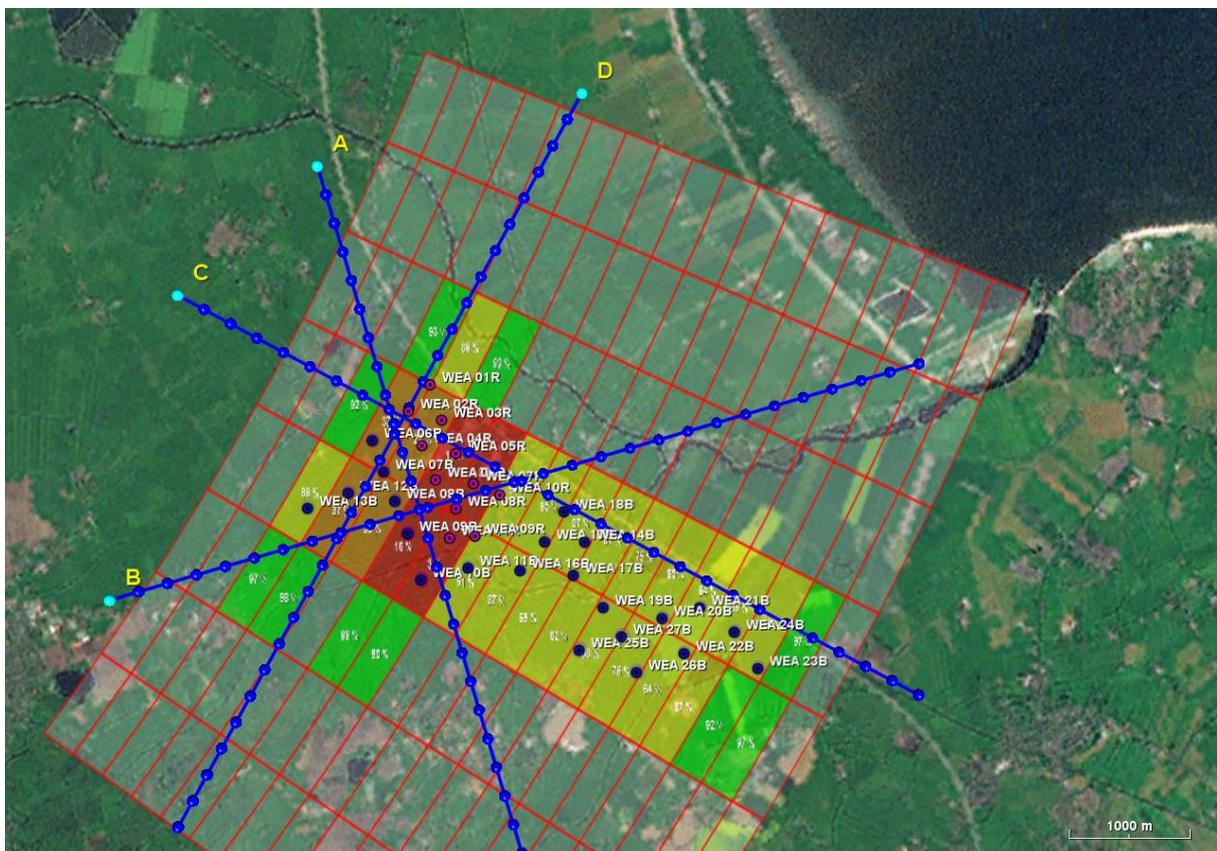


Abbildung 29: Übersicht über die Situation „Bestand“. Farblich kodiert sind die DCM-Zellen nach der Wahrscheinlichkeit der Darstellung eines Lfz mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$ . Zusätzlich sind die „Worst-Case“-Überflugpfade durch blaue Linien dargestellt. Die Ermittlung der Ziel- bzw. Trackverlustwahrscheinlichkeit erfolgt an den blauen Punkten.

Die Farbkodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz geschieht nach der folgenden Systematik:

- 0 % - 19 % = rot
- 20 % - 49 % = orange
- 50 % - 89 % = gelb
- 90 % - 100 % = grün

Die gewählten Überflugpfade (blaue Linien) über den geplanten Windpark stellen ein sogenanntes „Worst-Case“-Szenario dar. Dabei wird die Trackverlustwahrscheinlichkeit eines Lfz an den mit blauen Punkten gekennzeichneten Orten ermittelt.

Die Pfade sind hierbei:

- A = Diagonal A
- B = Diagonal B
- C = Radial
- D = Tangential

Die Überfluggeschwindigkeit des Lfz wird mit 50 m/s angenommen.

### **Flugpfad A: Diagonal A von Nordnordwest nach Südsüdost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad A kann die Länge des Pfades mit 10 Detektionen, entsprechend 2.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 8 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 98,81 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 9 Detektionen über 50 %.

### **Flugpfad B: Diagonal B von Westsüdwest nach Ostnordost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad B kann die Länge des Pfades mit 12 Detektionen, entsprechend 2.750 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 8 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 98,77 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 10 Detektionen über 50 %.

### **Flugpfad C: Radial von Westnordwest nach Ostsüdost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad C kann die Länge des Pfades mit 18 Detektionen, entsprechend 4.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 16 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 96,34 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 7 Detektionen über 50 %.

### **Flugpfad D: Tangential von Nordnordost nach Südsüdwest oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad D kann die Länge des Pfades mit 14 Detektionen, entsprechend 3.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 9 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 77,25 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 8 Detektionen über 50 %.

### 13.2.2 Situation „Planung“

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Planung benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

Die Abbildung 30 zeigt die farbige Kodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz mit einem Radarrückstreuquerschnitt von  $3 \text{ m}^2$  für die Situation „Planung“.

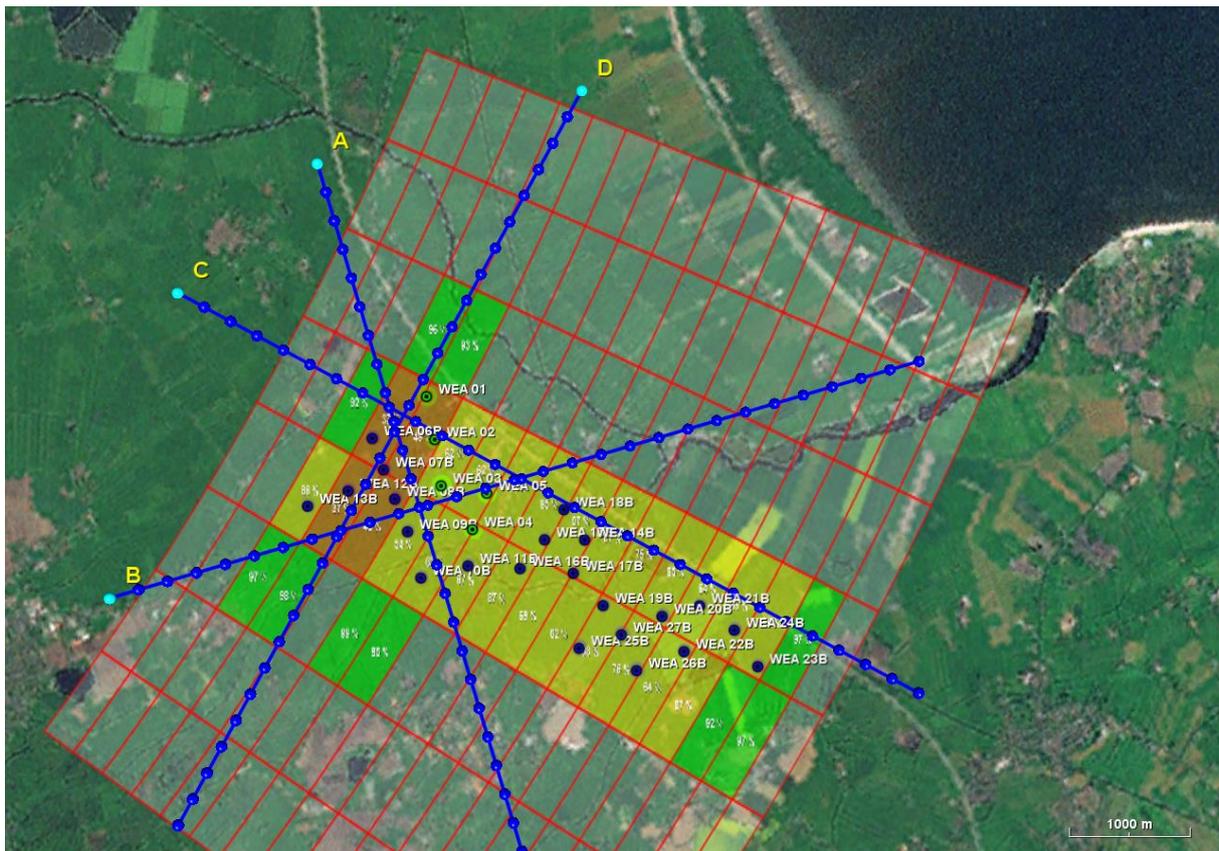


Abbildung 30: Übersicht über die Situation „Planung“. Farblich kodiert sind die DCM-Zellen nach der Wahrscheinlichkeit der Darstellung eines Lfz mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$ . Zusätzlich sind die „Worst-Case“-Überflugpfade durch blaue Linien dargestellt. Die Ermittlung der Ziel- bzw. Trackverlustwahrscheinlichkeit erfolgt an den blauen Punkten.

Die Farbkodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz geschieht nach der folgenden Systematik:

- 0 % - 19 % = rot
- 20 % - 49 % = orange
- 50 % - 89 % = gelb
- 90 % - 100 % = grün

Die gewählten Überflugpfade (blaue Linien) über den geplanten Windpark stellen ein sogenanntes „Worst-Case“-Szenario dar. Dabei wird die Trackverlustwahrscheinlichkeit eines Lfz an den mit blauen Punkten gekennzeichneten Orten ermittelt.

Die Pfade sind hierbei:

- A = Diagonal A
- B = Diagonal B
- C = Radial
- D = Tangential

Die Überfluggeschwindigkeit des Lfz wird mit 50 m/s angenommen.

### **Flugpfad A: Diagonal A von Nordnordwest nach Südsüdost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad A kann die Länge des Pfades mit 10 Detektionen, entsprechend 2.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 5 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 57,02 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 4 Detektionen über 50 %.

### **Flugpfad B: Diagonal B von Westsüdwest nach Ostnordost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad B kann die Länge des Pfades mit 12 Detektionen, entsprechend 2.750 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 6 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 54,94 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 5 Detektionen über 50 %.

### **Flugpfad C: Radial von Westnordwest nach Ostsüdost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad C kann die Länge des Pfades mit 18 Detektionen, entsprechend 4.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei keiner Detektion über 50 % und steigt auf maximal 45,21 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit ebenfalls bei keiner Detektion über 50 %.

### **Flugpfad D: Tangential von Nordnordost nach Südsüdwest oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad D kann die Länge des Pfades mit 14 Detektionen, entsprechend 3.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 9 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 76,38 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 8 Detektionen über 50 %.

### 13.2.3 Situation „Abschaltung“

Die in Tabelle 7 mit Bestand benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

Die Abbildung 31 zeigt die farbige Kodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz mit einem Radarrückstreuquerschnitt von  $3 \text{ m}^2$  für die Situation „Abschaltung“.

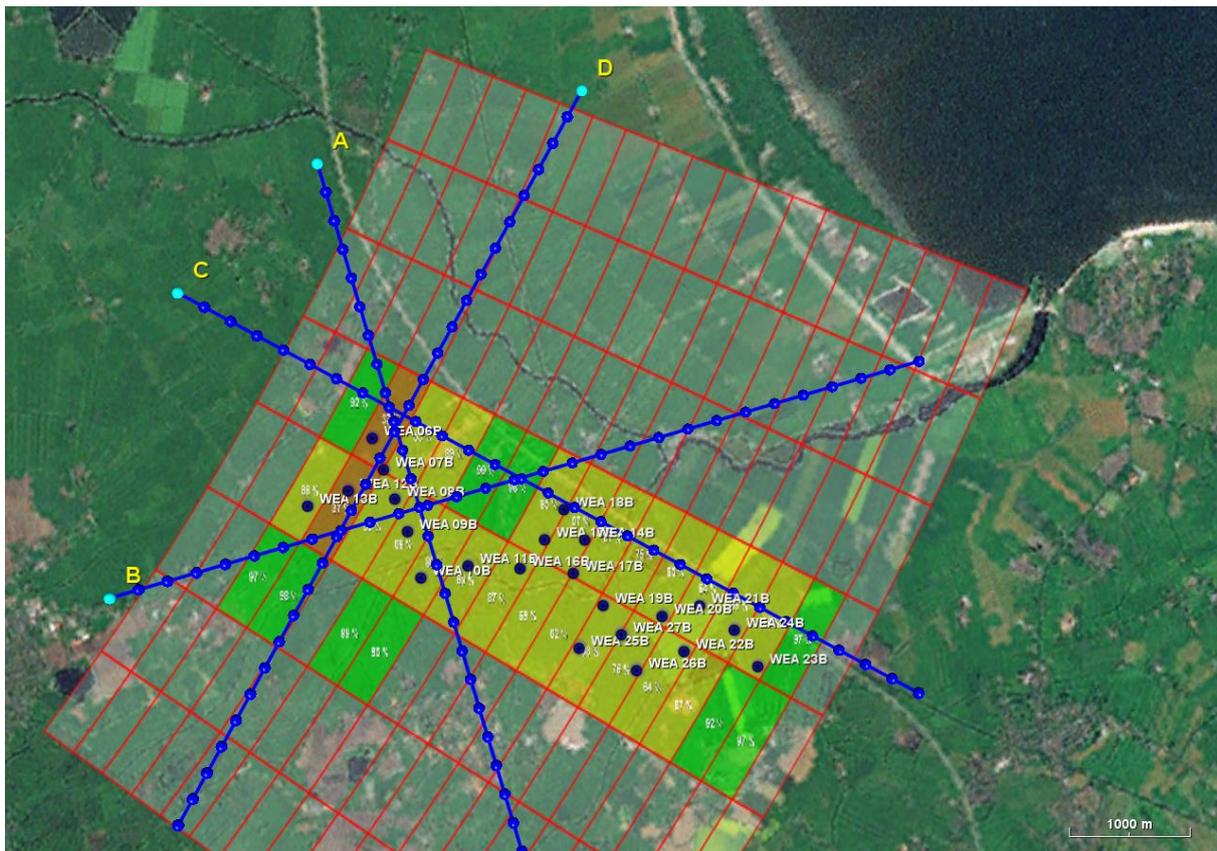


Abbildung 31: Übersicht über die Situation „Abschaltung“. Farblich kodiert sind die DCM-Zellen nach der Wahrscheinlichkeit der Darstellung eines Lfz mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$ . Zusätzlich sind die „Worst-Case“-Überflugpfade durch blaue Linien dargestellt. Die Ermittlung der Ziel- bzw. Trackverlustwahrscheinlichkeit erfolgt an den blauen Punkten.

Die Farbkodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz geschieht nach der folgenden Systematik:

- 0 % - 19 % = rot
- 20 % - 49 % = orange
- 50 % - 89 % = gelb
- 90 % - 100 % = grün

Die gewählten Überflugpfade (blaue Linien) über den geplanten Windpark stellen ein sogenanntes „Worst-Case“-Szenario dar. Dabei wird die Trackverlustwahrscheinlichkeit eines Lfz an den mit blauen Punkten gekennzeichneten Orten ermittelt.

Die Pfade sind hierbei:

- A = Diagonal A
- B = Diagonal B
- C = Radial
- D = Tangential

Die Überfluggeschwindigkeit des Lfz wird mit 50 m/s angenommen.

### **Flugpfad A: Diagonal A von Nordnordwest nach Südsüdost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad A kann die Länge des Pfades mit 10 Detektionen, entsprechend 2.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei keiner Detektion über 50 % und steigt auf maximal 41,56 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit ebenfalls bei keiner Detektion über 50 %.

### **Flugpfad B: Diagonal B von Westsüdwest nach Ostnordost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad B kann die Länge des Pfades mit 12 Detektionen, entsprechend 2.750 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei keiner Detektion über 50 % und steigt auf maximal 38,72 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit ebenfalls bei keiner Detektion über 50 %.

### **Flugpfad C: Radial von Westnordwest nach Ostsüdost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad C kann die Länge des Pfades mit 18 Detektionen, entsprechend 4.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei keiner Detektion über 50 % und steigt auf maximal 29,01 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit ebenfalls bei keiner Detektion über 50 %.

### **Flugpfad D: Tangential von Nordnordost nach Südsüdwest oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad D kann die Länge des Pfades mit 11 Detektionen, entsprechend 2.500 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 9 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 75,62 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 5 Detektionen über 50 %.

### 13.2.4 Situation „Steuerfkt. opt“

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Planung benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt. Die Planungsanlagen sind dabei mit der angegebenen Rotordrehzahlbegrenzung berücksichtigt.

Die Abbildung 32 zeigt die farbige Kodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz mit einem Radarrückstreuquerschnitt von  $3 \text{ m}^2$  für die Situation „Steuerfkt. opt“.

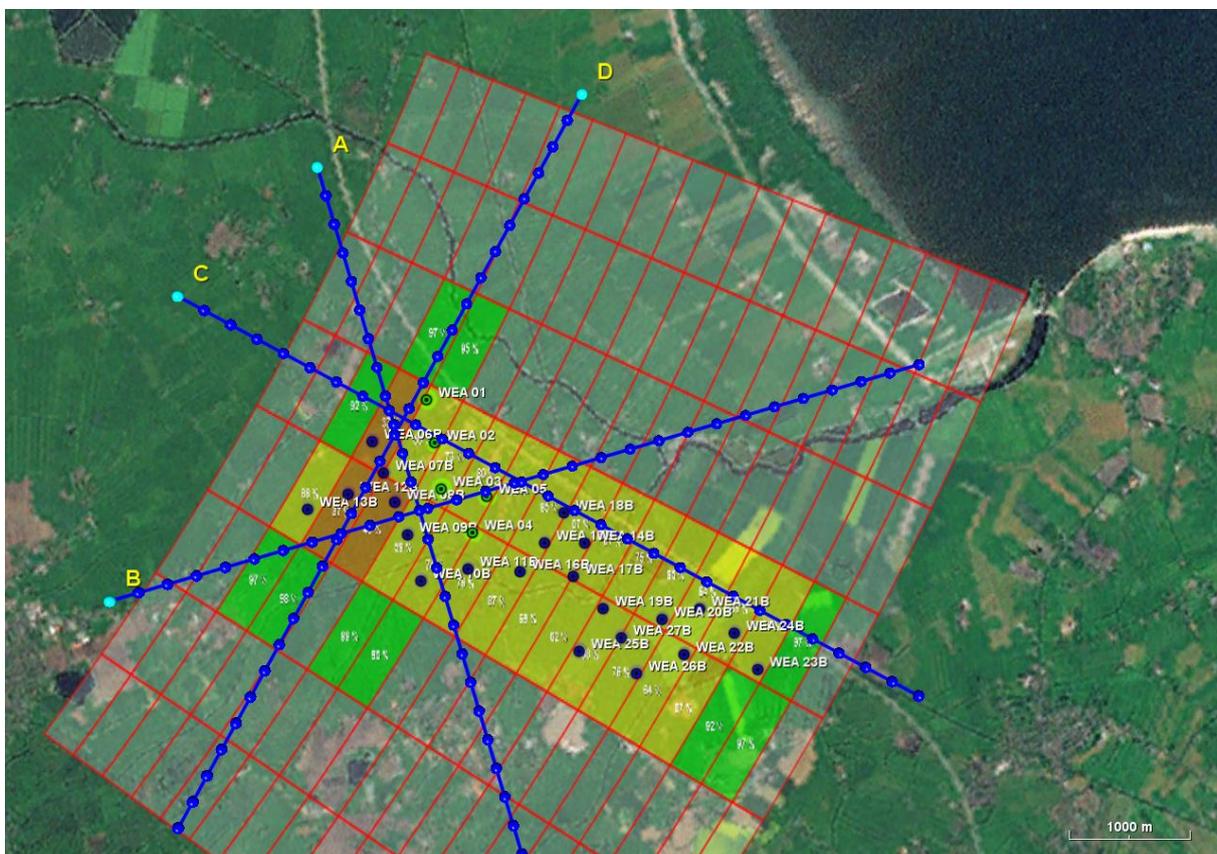


Abbildung 32: Übersicht über die Situation „Steuerfkt. opt“. Farblich kodiert sind die DCM-Zellen nach der Wahrscheinlichkeit der Darstellung eines Lfz mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$ . Zusätzlich sind die „Worst-Case“-Überflugpfade durch blaue Linien dargestellt. Die Ermittlung der Ziel- bzw. Trackverlustwahrscheinlichkeit erfolgt an den blauen Punkten.

Die Farbkodierung der Darstellungswahrscheinlichkeit eines Lfz geschieht nach der folgenden Systematik:

- 0 % - 19 % = rot
- 20 % - 49 % = orange
- 50 % - 89 % = gelb
- 90 % - 100 % = grün

Die gewählten Überflugpfade (blaue Linien) über den geplanten Windpark stellen ein sogenanntes „Worst-Case“-Szenario dar. Dabei wird die Trackverlustwahrscheinlichkeit eines Lfz an den mit blauen Punkten gekennzeichneten Orten ermittelt.

Die Pfade sind hierbei:

- A = Diagonal A
- B = Diagonal B
- C = Radial
- D = Tangential

Die Überfluggeschwindigkeit des Lfz wird mit 50 m/s angenommen.

### **Flugpfad A: Diagonal A von Nordnordwest nach Südsüdost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad A kann die Länge des Pfades mit 10 Detektionen, entsprechend 2.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei keiner Detektion über 50 % und steigt auf maximal 50 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit ebenfalls bei keiner Detektion über 50 %.

### **Flugpfad B: Diagonal B von Westsüdwest nach Ostnordost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad B kann die Länge des Pfades mit 12 Detektionen, entsprechend 2.750 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei keiner Detektion über 50 % und steigt auf maximal 45,05 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit ebenfalls bei keiner Detektion über 50 %.

### **Flugpfad C: Radial von Westnordwest nach Ostsüdost oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad C kann die Länge des Pfades mit 18 Detektionen, entsprechend 4.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei keiner Detektion über 50 % und steigt auf maximal 36,82 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit ebenfalls bei keiner Detektion über 50 %.

### **Flugpfad D: Tangential von Nordnordost nach Südsüdwest oder in umgekehrter Richtung**

Beim Flugpfad D kann die Länge des Pfades mit 14 Detektionen, entsprechend 3.250 m, angegeben werden. Die Trackverlustwahrscheinlichkeit liegt bei 9 Detektionen über 50 % und steigt auf maximal 76,27 % an. In Gegenrichtung liegt die Trackverlustwahrscheinlichkeit bei 8 Detektionen über 50 %.

### **13.2.5 Zusammenfassende Beurteilung der verschiedenen Überflugs-Szenarien:**

**Bei allen hier durchgeführten Untersuchungen ist zu beachten, dass es sich um sogenannte „Worst-Case“-Szenarien handelt. Das bedeutet, dass ein etwaiger realer Überflug genau diese hier dargestellten Richtungen aufweisen müsste. Dabei ist bei einer auch nur geringfügigen Abweichung von wenigen Metern von diesem Worst-Case-Szenario von einer zum Teil sehr viel geringeren Zielverlustwahrscheinlichkeit auszugehen.**

Grundlage sind die technischen Erfordernisse des Radarsystems ASR-S oder funktionsgleicher anderer Radarsysteme, sowie die WEA-Standorte gemäß Tabelle 7.

Untersucht wurden die Situationen „Bestand“, „Planung“, „Abschaltung“ sowie „Steuerfkt. opt“. Die hierbei berücksichtigten Betriebszustände der Windenergieanlagen sind nachfolgend angegeben.

#### Situation „Bestand“:

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Rückbau benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

#### Situation „Planung“ :

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Planung benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

#### Situation „Abschaltung.“:

Die in Tabelle 7 mit Bestand benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

#### Situation „Steuerfkt. opt“:

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Planung benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt. Die Planungsanlagen sind dabei mit der angegebenen Rotordrehzahlbegrenzung berücksichtigt.

Auf der Grundlage der durchgeführten Überflugbewertungen bzgl. zu erwartender Trackverlustwahrscheinlichkeiten von LFZ kann festgestellt werden, dass bei der untersuchten Situation „Bestand“ ein Störzelligebiet vorliegt, bei dem bzgl. der Radaranlage Wittmund bei allen untersuchten Überflügen Trackverlustwahrscheinlichkeiten für ein LFZ mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$  von über 50 % vorliegen.

Bei der Situation „Planung“ wird die Trackverlustwahrscheinlichkeit für die Überflugpfade A bis C auf unter 60 % deutlich gemindert.

Bei den Situationen „Abschaltung“ und „Steuerfkt. Opt“ liegt bei den Überflugpfaden A bis C eine Trackverlustwahrscheinlichkeit für ein LFZ mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$  von unter 50 % vor. Für den tangentialen Überflug liegt bei allen untersuchten Situationen eine Trackverlustwahrscheinlichkeit von über 50 % vor.

Trackverlustwahrscheinlichkeiten von über 50 % sind für ein Lfz mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$  bei einem Überflug gemäß den Forderungen und Festlegungen der Flugsicherung radartechnisch nicht zulässig. Ein RQS von  $3 \text{ m}^2$  entspricht z. B. einem einmotorigen Sportflugzeug.

Im Zusammenhang mit dem Flugpfad D sei darauf hingewiesen, dass bei tangential orientierten Flugpfaden relativ zum Standort des Radarsystems generell Einschränkungen bei der Darstellung von Lfz-Bewegungen aufgrund fehlender radialer Dopplerinformationen vorliegen.

Nachfolgend sind die Trackverlustwahrscheinlichkeiten für ein Lfz mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$  für die Situationen „Bestand“, „Planung“, „Abschaltung“ und „Steuerfkt. opt“ gegenübergestellt. Die Kurven der verschiedenen Situationen sind teilweise deckungsgleich, sodass nicht immer alle Kurven durchgängig zu erkennen sind.

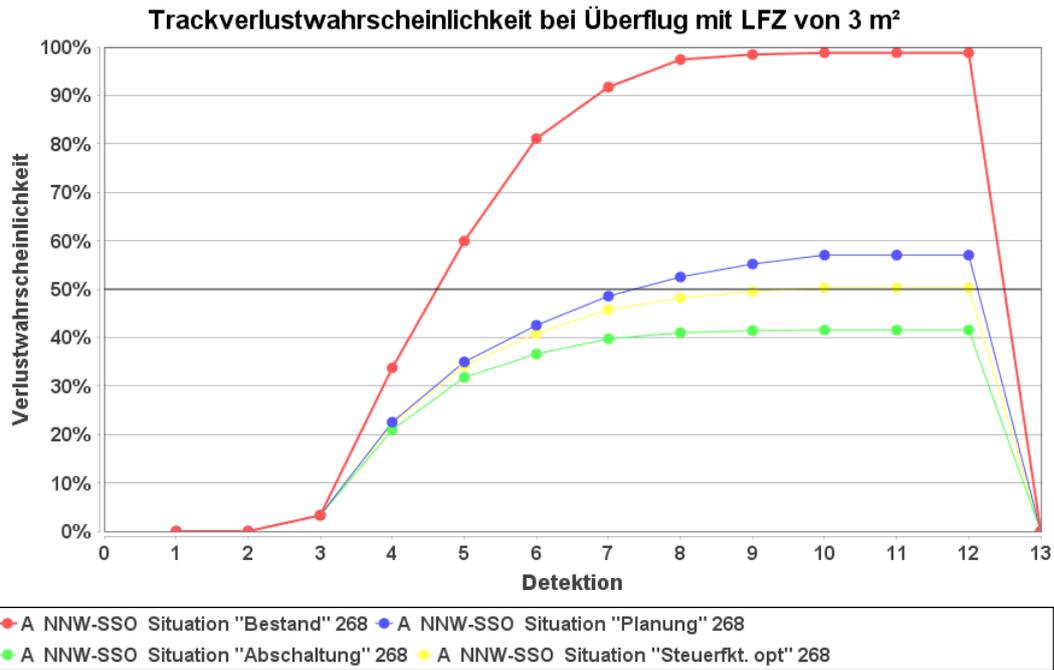


Abbildung 33: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad A)

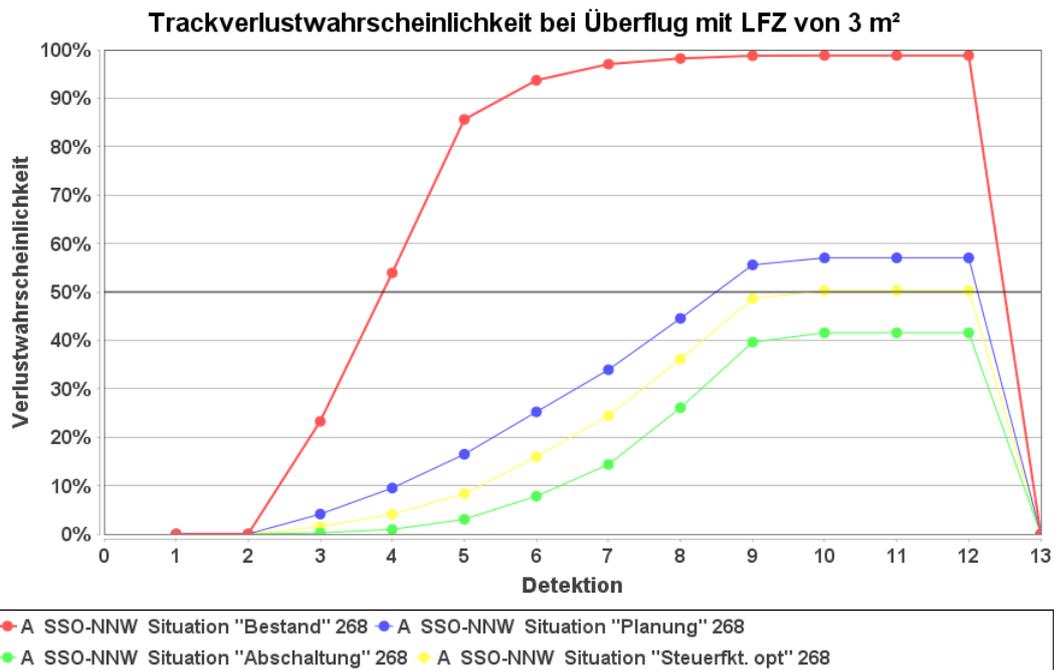


Abbildung 34: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad A) Gegenrichtung

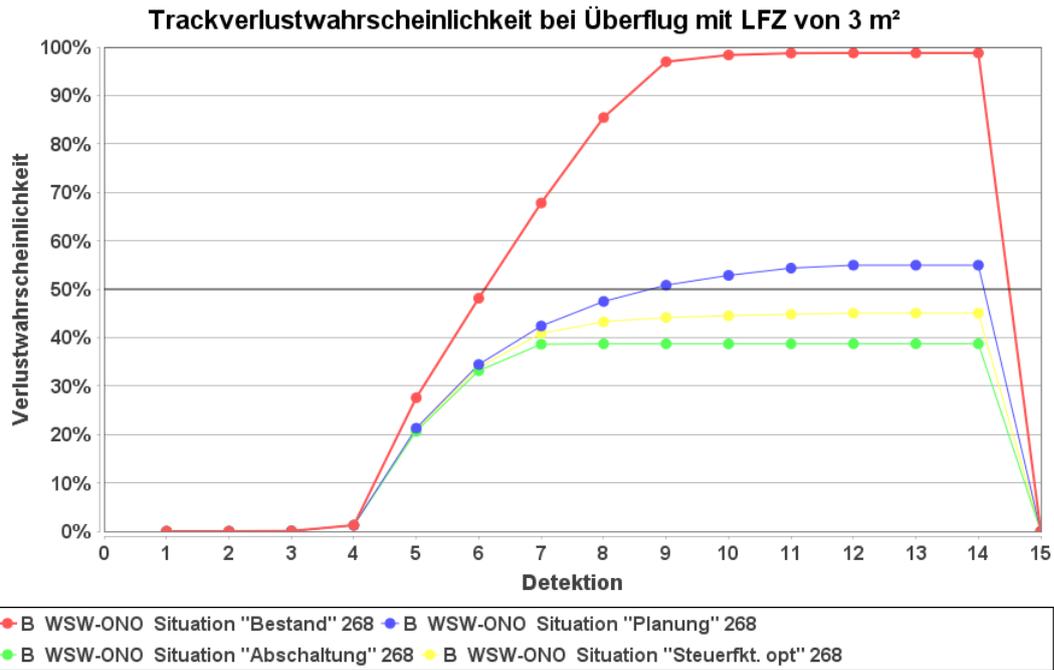


Abbildung 35: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad B)

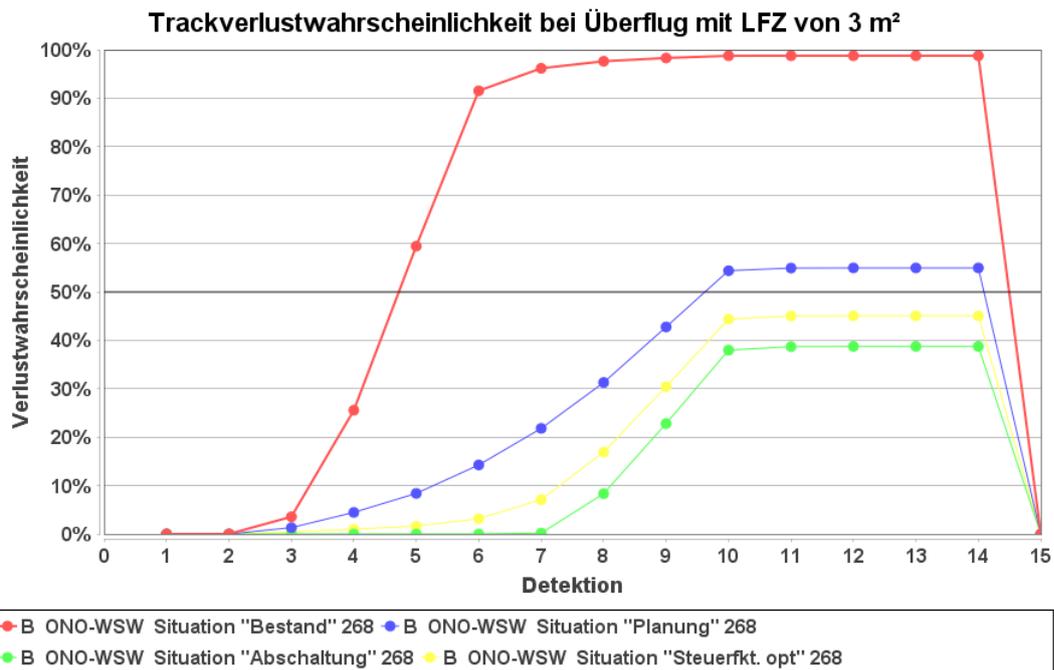


Abbildung 36: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad B) Gegenrichtung

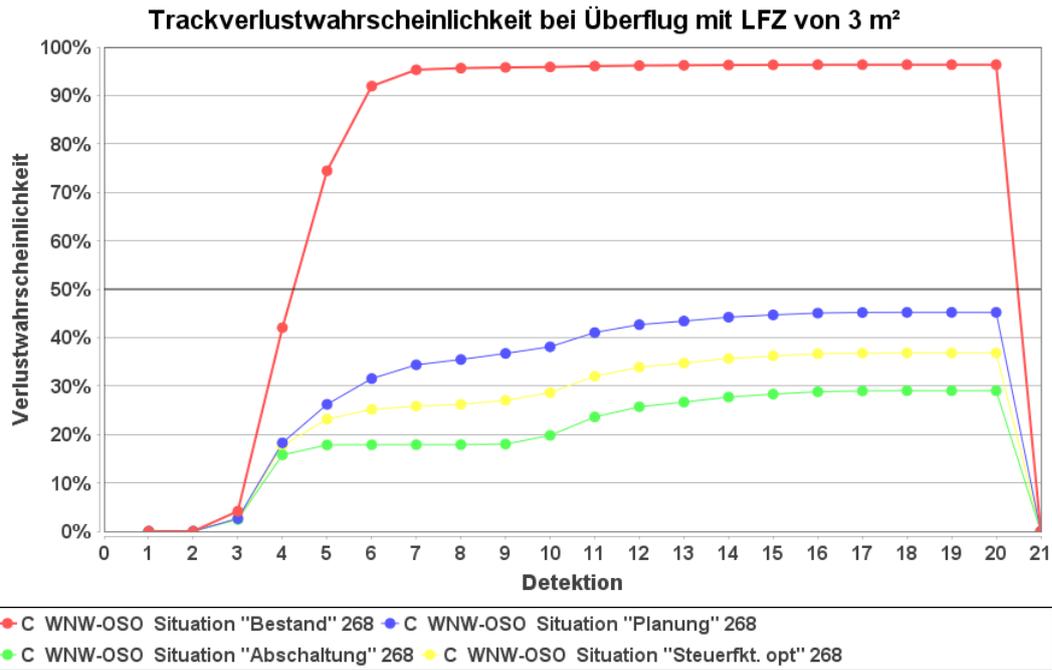


Abbildung 37: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad C)

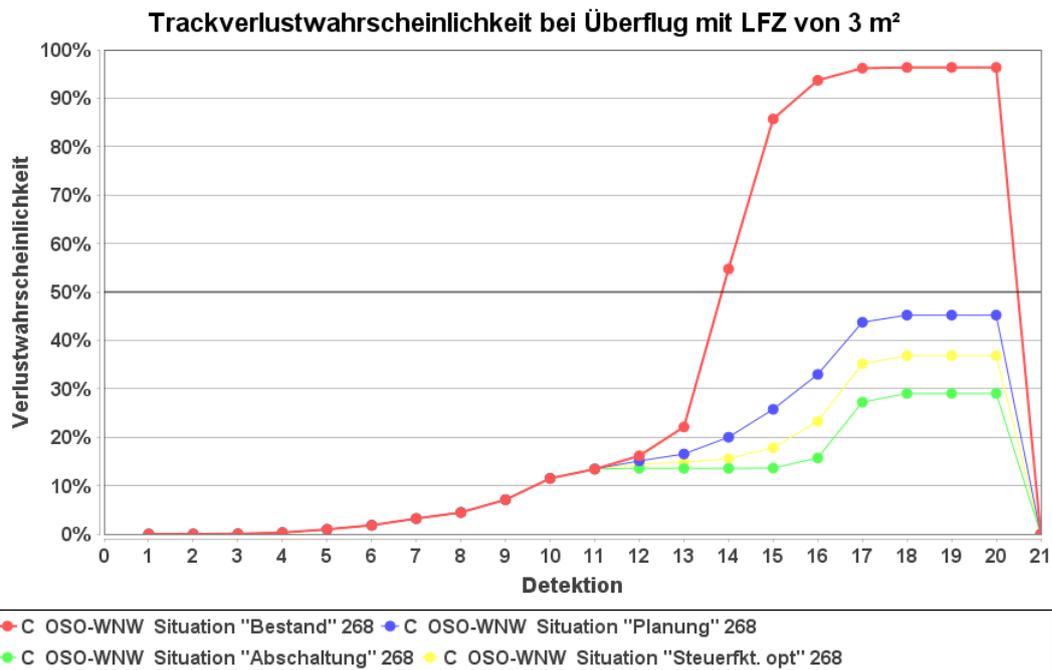


Abbildung 38: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad C) Gegenrichtung

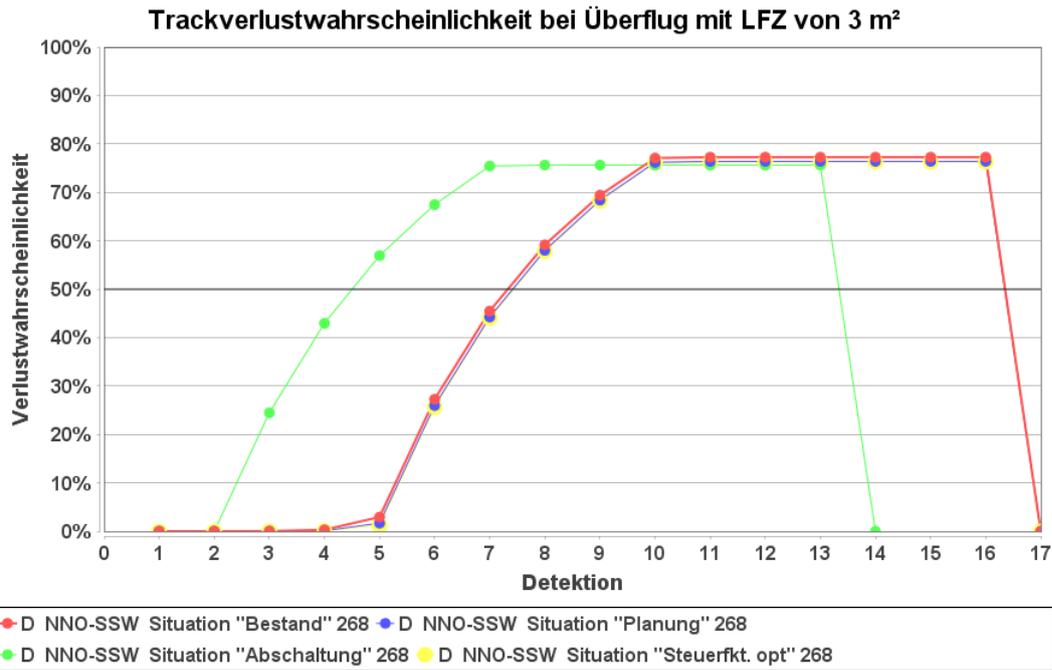


Abbildung 39: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad D)

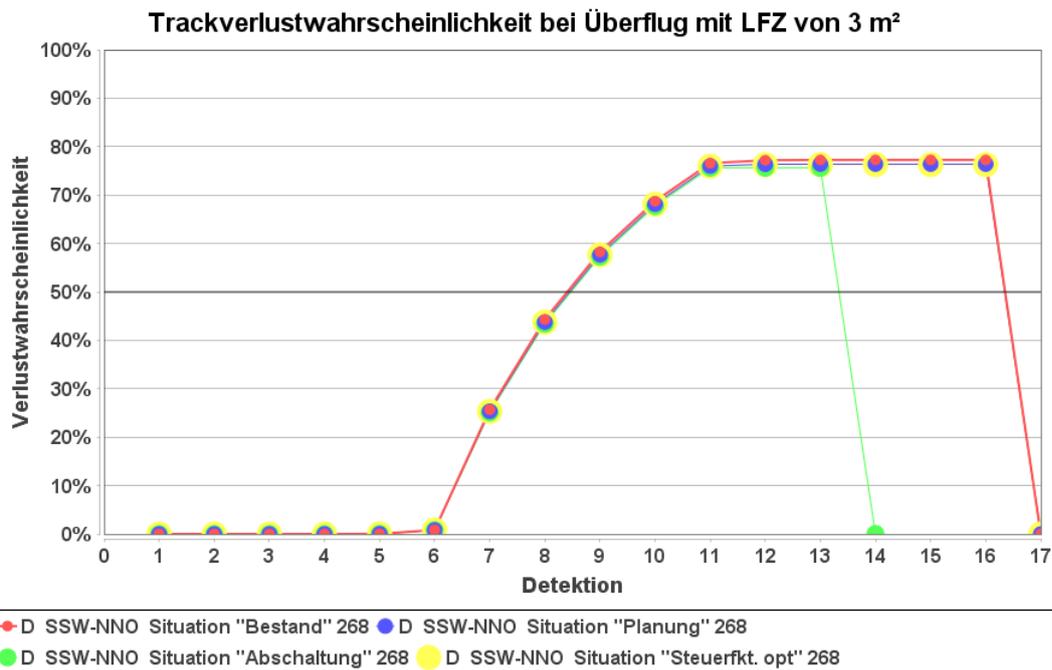


Abbildung 40: Trackverlustwahrscheinlichkeit bei einem Überflug (Pfad D) Gegenrichtung

## 14 CFAR-Algorithmus / „Schwellwert-Anhebung“ (Radar Wittmund)

Die Beeinträchtigung der Lfz-Darstellung wird durch verschiedene reflektierende Objekte beeinflusst, die von der CFAR-Cluttermap und der DCM – Dopplercluttermap – unterschiedlich berücksichtigt werden.

### Cluttermap bei statischen Bauwerken:

Statische Bauwerke – die keinen Doppleranteil haben und deren RQS nicht zeitvariant sind wie beispielsweise bei großen Gebäuden – werden als Festziele berücksichtigt und innerhalb einer Abtastzelle unterdrückt. Abhängig von der tatsächlichen Position können bis zu vier derartige Zellen betroffen sein. Unter der Annahme einer Abtastzelle der Cluttermap der Dimension

Range: 60 m und

Azimut ca.  $0,7^\circ$

wird dieses ortsfeste Ziel innerhalb einer Zelle von ca. 120 m und ca.  $1,45^\circ$  unterdrückt.

### Cluttermap bei WEA:

Im Zusammenhang mit WEA, deren Reflexionssignal durch Dopplerinformationen gekennzeichnet ist, ist die nachstehende Bewertung erforderlich. Bei mehrstufigen Dopplerfiltern moderner digitaler Radarsysteme ergeben sich abhängig von der Dopplerfrequenz Einflüsse auf die Cluttermap und auf die DCM (Dopplercluttermap).

Ausgehend von der Lfz-Position wird über Range ein Nachbarschaftsbereich von 24 Zellen (1440 m) sowie über Azimut ein Bereich von  $1,45^\circ$  zur Bewertung herangezogen. Wenn ein weiteres Ziel, zusätzlich zum Lfz, jetzt erfasst wird z.B. eine WEA, wird diese dargestellt. Wenn nun diese WEA oder mehrere WEA als Gruppe mehr als 7 Zellen a 60 m Range von 24 Zellen belasten (also innerhalb von 1440 m), dann ist als Ergebnis eine Zone von allen 24 Zellen (1440 m) betroffen. Diese CFAR-Zone berechnet sich von der am weitesten entfernten WEA zurück zum Radar.



In der Praxis von Windparks machen aufgrund der mangelnden Range-Ausdehnung einzelnen WEA oder 2 WEAs kein Problem, d.h. keine CFAR Anhebung.

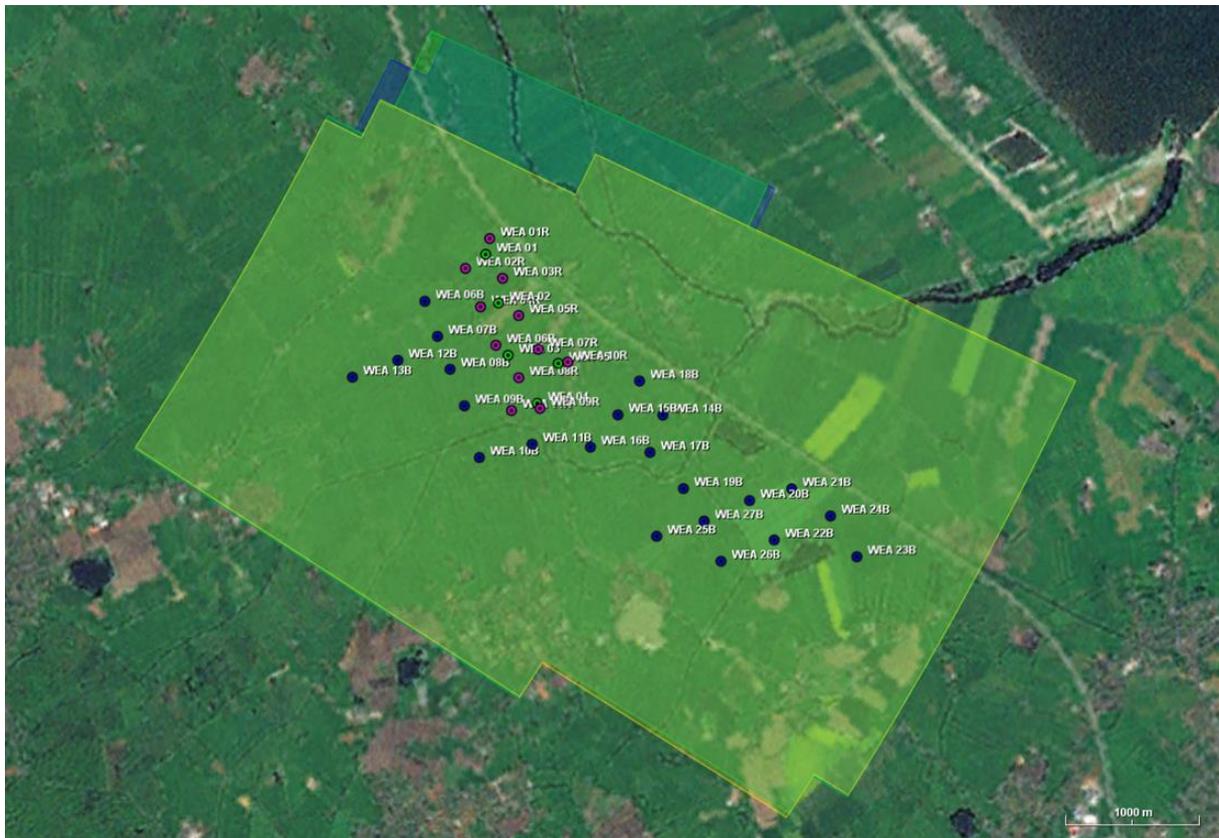


Abbildung 41: Gebiete der CFAR-Schwellwertanhebung. Situation „Bestand“: Blaue Umrandung; Situation „Planung“ und „Steuerfkt. opt“: Grüne Umrandung; Situation „Abschaltung“: Gelbe Umrandung

## 15 Gesamtbeurteilung/Zusammenfassung der Ergebnisse

### Ergebnisse für die WP-Planung bzgl. des Radars Brockzetel:

Um eine Situation sicherzustellen, die auch bei Errichtung der geplanten WEAs für die Radaranlage in Brockzetel eine der bisherigen Betriebssituation gleichwertige Beeinflussung bzw. Radarreichweite schafft, ist die nachstehende WEA-Anordnung gemäß Abbildung 42 sowie Tabelle 6 zulässig:

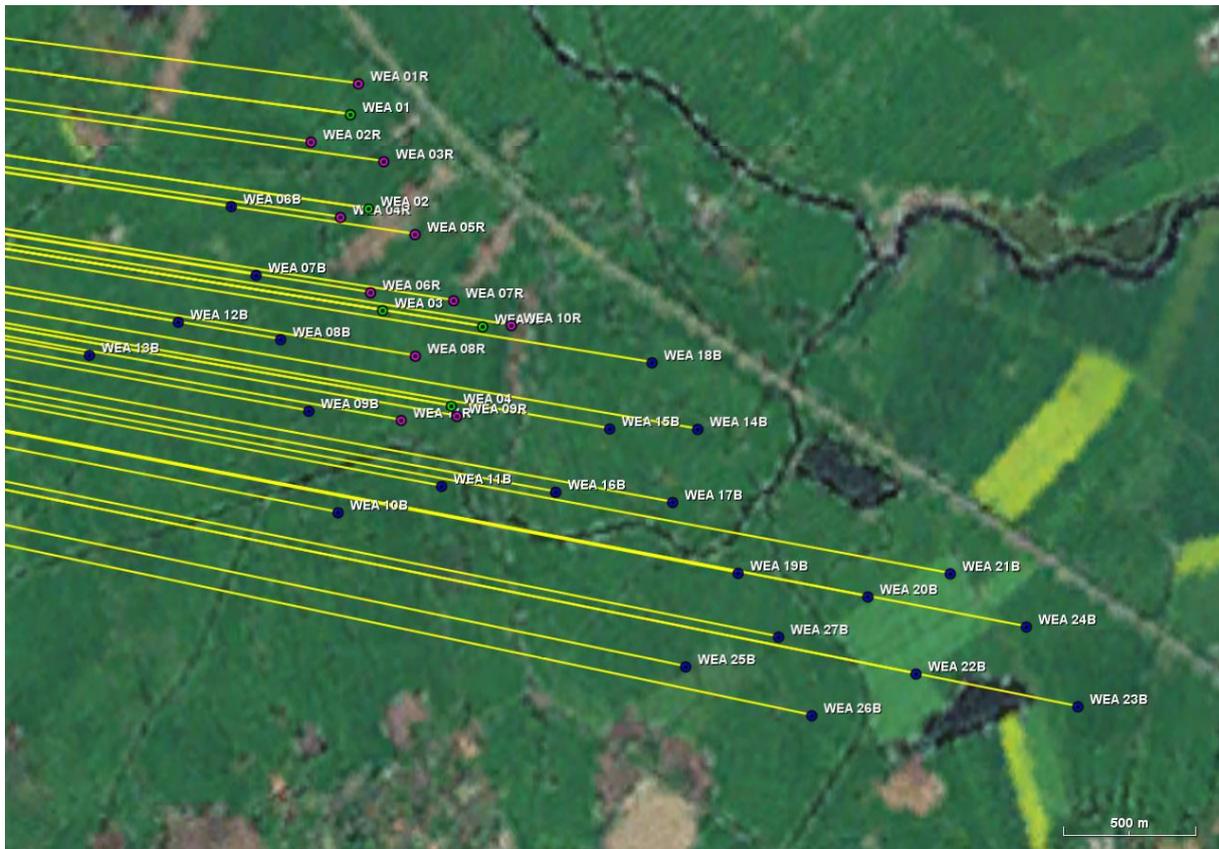


Abbildung 42: Übersicht über den Windpark Hiddels mit den geplanten Windenergieanlagen (grün), dem Rückbau (magenta) sowie der Vorbelastung (blau). Die Einstrahlungsrichtungen bzgl. der Radaranlage Brockzetel sind gelb dargestellt.

Standort	Anlage	WGS 84 Nord	WGS 84 Ost	Nabenhöhe [m]	Elevation [°]	Distanz [m]	Winkel [°]
<b>Planung</b>							
WEA 01	V150-5.6-5.600	53° 26' 18,95"	8° 1' 50,85"	125	0,159	24458,97	97,259
WEA 02	V150-5.6-5.600	53° 26' 7,30"	8° 1' 54,58"	125	0,158	24577,03	98,070
WEA 03	V150-5.6-5.600	53° 25' 54,73"	8° 1' 57,47"	125	0,156	24689,22	98,944
WEA 04	V150-5.6-5.600	53° 25' 42,90"	8° 2' 11,61"	125	0,152	25007,67	99,675
WEA 05	V150-5.6-5.600	53° 25' 52,73"	8° 2' 18,05"	125	0,150	25074,18	98,944
<b>Rückbau</b>							
WEA 01R	V66 1650-300	53° 26' 22,77"	8° 1' 52,19"	67	0,023	24468,27	96,977
WEA 02R	V66 1650-300	53° 26' 15,55"	8° 1' 42,74"	67	0,024	24324,69	97,551
WEA 03R	E-66/15.66 1500	53° 26' 13,15"	8° 1' 57,70"	67	0,022	24608,46	97,634
WEA 04R	E-66/15.66 1500	53° 26' 6,24"	8° 1' 48,81"	67	0,025	24476,46	98,182
WEA 05R	E-66/15.66 1500	53° 26' 4,14"	8° 2' 4,14"	67	0,019	24765,93	98,234
WEA 06R	E-66/15.66 1500	53° 25' 56,94"	8° 1' 54,98"	67	0,017	24632,94	98,804
WEA 07R	E-66/15.66 1500	53° 25' 55,95"	8° 2' 12,07"	67	0,020	24949,39	98,759
WEA 08R	E-66/15.66 1500	53° 25' 49,09"	8° 2' 4,21"	67	0,020	24840,47	99,295
WEA 09R	E-66/15.66 1500	53° 25' 41,65"	8° 2' 12,78"	67	0,019	25035,66	99,754
WEA 10R	E-66/15.66 1500	53° 25' 52,87"	8° 2' 23,95"	67	0,017	25181,08	98,895
WEA 11R	E-66/15.66 1500	53° 25' 41,14"	8° 2' 1,30"	67	0,020	24829,76	99,875
<b>Bestand</b>							
WEA 06B	E-101-3.050	53° 26' 7,58"	8° 1' 26,34"	99	0,103	24060,09	98,230
WEA 07B	E-101-3.050	53° 25' 59,08"	8° 1' 31,47"	99	0,101	24193,86	98,812
WEA 08B	E-101-3.050	53° 25' 51,13"	8° 1' 36,53"	99	0,104	24326,03	99,349
WEA 09B	E-101-3.050	53° 25' 42,28"	8° 1' 42,31"	99	0,096	24478,42	99,939
WEA 10B	E-101-3.050	53° 25' 29,74"	8° 1' 48,34"	99	0,101	24659,48	100,779
WEA 11B	E-101-3.050	53° 25' 32,98"	8° 2' 9,61"	99	0,092	25026,31	100,382
WEA 12B	E-101-3.050	53° 25' 53,29"	8° 1' 15,45"	99	0,104	23931,27	99,348
WEA 13B	E-101-3.050	53° 25' 49,19"	8° 0' 57,18"	99	0,107	23620,51	99,788
WEA 14B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 40,04"	8° 3' 2,28"	80	0,044	25944,53	99,510
WEA 15B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 40,09"	8° 2' 44,18"	80	0,044	25615,01	99,634
WEA 16B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 32,27"	8° 2' 33,09"	80	0,047	25456,50	100,249
WEA 17B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 31,00"	8° 2' 57,12"	80	0,044	25899,94	100,155
WEA 18B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 48,28"	8° 2' 52,88"	80	0,047	25731,02	99,017
WEA 19B	MM 92-2.050	53° 25' 22,24"	8° 3' 10,58"	78,5	0,038	26194,48	100,639
WEA 20B	3.4M104-3.400	53° 25' 19,31"	8° 3' 37,25"	98	0,077	26695,23	100,629
WEA 21B	3.4M104-3.400	53° 25' 22,17"	8° 3' 54,20"	98	0,074	26986,14	100,318
WEA 22B	3.4M104-3.400	53° 25' 9,78"	8° 3' 47,16"	98	0,073	26932,06	101,170
WEA 23B	3.4M104-3.400	53° 25' 5,71"	8° 4' 20,45"	98	0,065	27559,61	101,172
WEA 24B	3.4M104-3.400	53° 25' 15,59"	8° 4' 9,84"	98	0,072	27307,96	100,626
WEA 25B	3.2M114-3.200	53° 25' 10,67"	8° 2' 59,79"	93	0,071	26069,68	101,494
WEA 26B	3.2M114-3.200	53° 25' 4,63"	8° 3' 25,71"	93	0,066	26576,59	101,676
WEA 27B	3.4M114-3.400	53° 25' 14,35"	8° 3' 18,89"	119	0,126	26392,32	101,095

Tabelle 6: Koordinatenübersicht über die analysierte radartechnisch zulässige Aufstellung mit den Planungsanlagen im Windpark Hiddels (grün), dem Rückbau (magenta) sowie der Vorbelastung (blau).

Die zu erwartenden Reichweitenminderungen durch die grün gekennzeichneten geplanten Windenergieanlagen in Verbindung mit den blau gekennzeichneten WEAs der Vorbelastung erfüllt das Kriterium von 96,2 %.

Bei der Realisierung der Planungsstandorte sind Ortsabweichungen in allen Richtungen gegenüber den Koordinaten gemäß Tabelle 6 in der Größenordnung des Säu-

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

lendurchmessers – im unteren Höhenbereich – ohne Einfluss auf die Ergebnisse in allen Richtungen zulässig.

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

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

### **Ergebnisse für die WP-Planung bzgl. der Radaranlage Wittmund:**

Um eine Situation sicherzustellen, bei der Trackverlustwahrscheinlichkeiten von unter 50 % für ein Lfz mit einem RQS von 3 m<sup>2</sup> bei einem Überflug vorliegen und hierdurch für die Radaranlage in Wittmund eine sichere, radarbasierte Flugführung möglich ist, ist die nachstehende Anordnung nach Abbildung 43 sowie Tabelle 7 unter Berücksichtigung der genannten Maßnahmen zulässig.

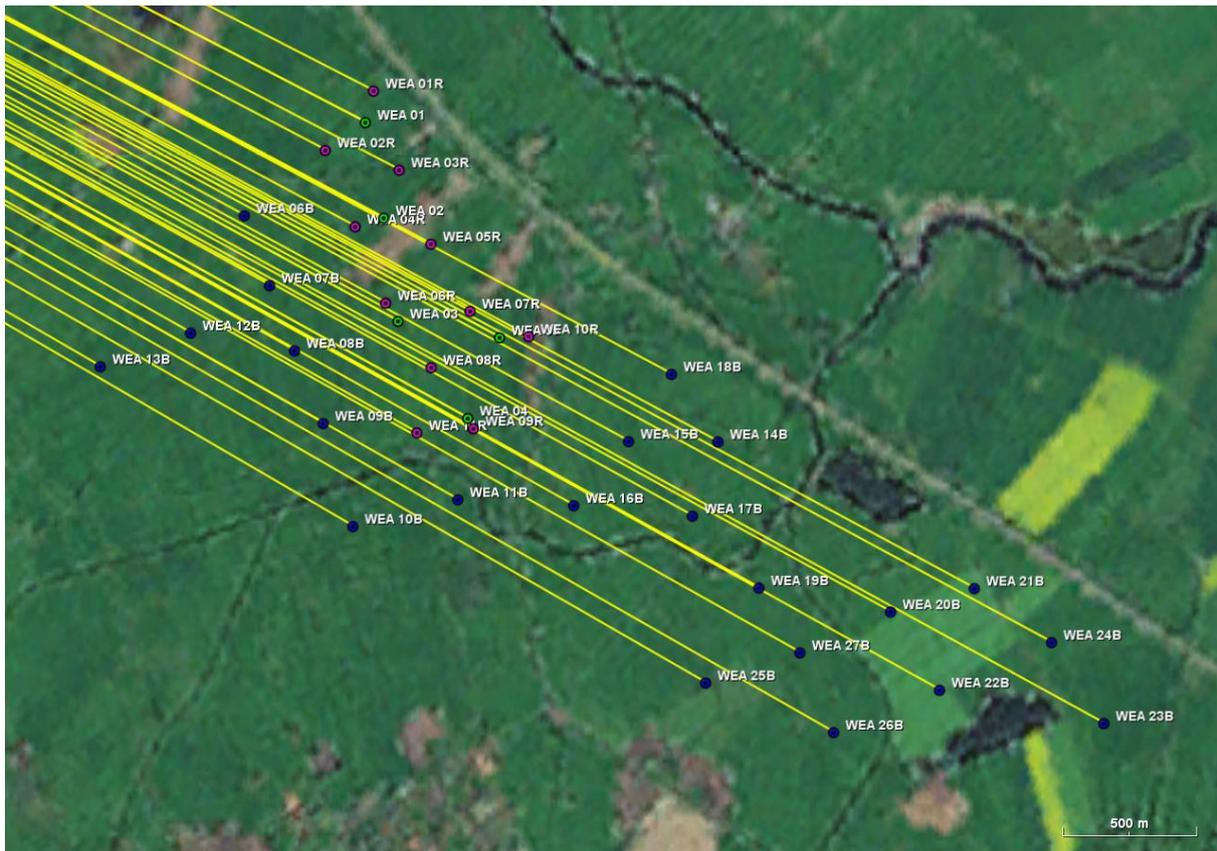


Abbildung 43: Detailübersicht der geplanten Windenergieanlagen (grün), des Rückbaus (magenta) sowie der Bestandsanlagen (blau).

Standort	Anlage	WGS 84 Nord	WGS 84 Ost	Nabenhöhe [m]	Elevation [°]	Distanz [m]	Winkel [°]	Rotordrehzahl begrenzung WR II [rpm]
<b>Planung</b>								
WEA 01	V150-5.6-5.600	53° 26' 18,95"	8° 1' 50,85"	125	0,089	27297,74	117,252	6
WEA 02	V150-5.6-5.600	53° 26' 7,30"	8° 1' 54,58"	125	0,087	27526,85	117,850	6
WEA 03	V150-5.6-5.600	53° 25' 54,73"	8° 1' 57,47"	125	0,084	27759,02	118,506	5
WEA 04	V150-5.6-5.600	53° 25' 42,90"	8° 2' 11,61"	125	0,080	28164,66	118,902	5
WEA 05	V150-5.6-5.600	53° 25' 52,73"	8° 2' 18,05"	125	0,080	28122,06	118,243	6
<b>Rückbau</b>								
WEA 01R	V66 1650-300	53° 26' 22,77"	8° 1' 52,19"	67	-0,033	27265,30	117,008	
WEA 02R	V66 1650-300	53° 26' 15,55"	8° 1' 42,74"	67	-0,033	27214,09	117,594	
WEA 03R	E-66/15.66 1500	53° 26' 13,15"	8° 1' 57,70"	67	-0,034	27493,04	117,462	
WEA 04R	E-66/15.66 1500	53° 26' 6,24"	8° 1' 48,81"	67	-0,032	27448,49	118,016	
WEA 05R	E-66/15.66 1500	53° 26' 4,14"	8° 2' 4,14"	67	-0,038	27728,56	117,856	
WEA 06R	E-66/15.66 1500	53° 25' 56,94"	8° 1' 54,98"	67	-0,039	27685,79	118,427	
WEA 07R	E-66/15.66 1500	53° 25' 55,95"	8° 2' 12,07"	67	-0,037	27977,57	118,172	
WEA 08R	E-66/15.66 1500	53° 25' 49,09"	8° 2' 4,21"	67	-0,037	27952,19	118,696	
WEA 09R	E-66/15.66 1500	53° 25' 41,65"	8° 2' 12,78"	67	-0,038	28202,38	118,949	
WEA 10R	E-66/15.66 1500	53° 25' 52,87"	8° 2' 23,95"	67	-0,039	28215,75	118,129	
WEA 11R	E-66/15.66 1500	53° 25' 41,14"	8° 2' 1,30"	67	-0,038	28025,41	119,189	
<b>Bestand</b>								
WEA 06B	E-101-3.050	53° 26' 7,58"	8° 1' 26,34"	99	0,036	27064,08	118,354	
WEA 07B	E-101-3.050	53° 25' 59,08"	8° 1' 31,47"	99	0,034	27273,75	118,744	
WEA 08B	E-101-3.050	53° 25' 51,13"	8° 1' 36,53"	99	0,037	27475,24	119,097	
WEA 09B	E-101-3.050	53° 25' 42,28"	8° 1' 42,31"	99	0,029	27703,19	119,482	
WEA 10B	E-101-3.050	53° 25' 29,74"	8° 1' 48,34"	99	0,033	27993,74	120,058	
WEA 11B	E-101-3.050	53° 25' 32,98"	8° 2' 9,61"	99	0,026	28283,48	119,481	
WEA 12B	E-101-3.050	53° 25' 53,29"	8° 1' 15,45"	99	0,036	27103,81	119,378	
WEA 13B	E-101-3.050	53° 25' 49,19"	8° 0' 57,18"	99	0,038	26874,74	119,969	
WEA 14B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 40,04"	8° 3' 2,28"	80	-0,014	29026,93	118,153	
WEA 15B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 40,09"	8° 2' 44,18"	80	-0,015	28732,81	118,468	
WEA 16B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 32,27"	8° 2' 33,09"	80	-0,013	28671,36	119,088	
WEA 17B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 31,00"	8° 2' 57,12"	80	-0,015	29077,81	118,727	
WEA 18B	N90/2500 LS-2.500	53° 25' 48,28"	8° 2' 52,88"	80	-0,011	28753,29	117,872	
WEA 19B	MM 92-2.050	53° 25' 22,24"	8° 3' 10,58"	78,5	-0,020	29426,80	118,953	
WEA 20B	3.4M104-3.400	53° 25' 19,31"	8° 3' 37,25"	98	0,016	29901,16	118,643	
WEA 21B	3.4M104-3.400	53° 25' 22,17"	8° 3' 54,20"	98	0,013	30133,08	118,207	
WEA 22B	3.4M104-3.400	53° 25' 9,78"	8° 3' 47,16"	98	0,012	30204,42	118,964	
WEA 23B	3.4M104-3.400	53° 25' 5,71"	8° 4' 20,45"	98	0,006	30802,79	118,608	
WEA 24B	3.4M104-3.400	53° 25' 15,59"	8° 4' 9,84"	98	0,012	30484,02	118,284	
WEA 25B	3.2M114-3.200	53° 25' 10,67"	8° 2' 59,79"	93	0,008	29430,66	119,750	
WEA 26B	3.2M114-3.200	53° 25' 4,63"	8° 3' 25,71"	93	0,005	29938,60	119,600	
WEA 27B	3.4M114-3.400	53° 25' 14,35"	8° 3' 18,89"	119	0,058	29680,23	119,219	

Tabelle 7: Koordinatenübersicht mit Angabe zum Zustand bei bestimmten Windrichtungen über die geplanten Windenergieanlagen (grün), den Rückbau (magenta) sowie den Bestand (blau) im WP Hiddels.

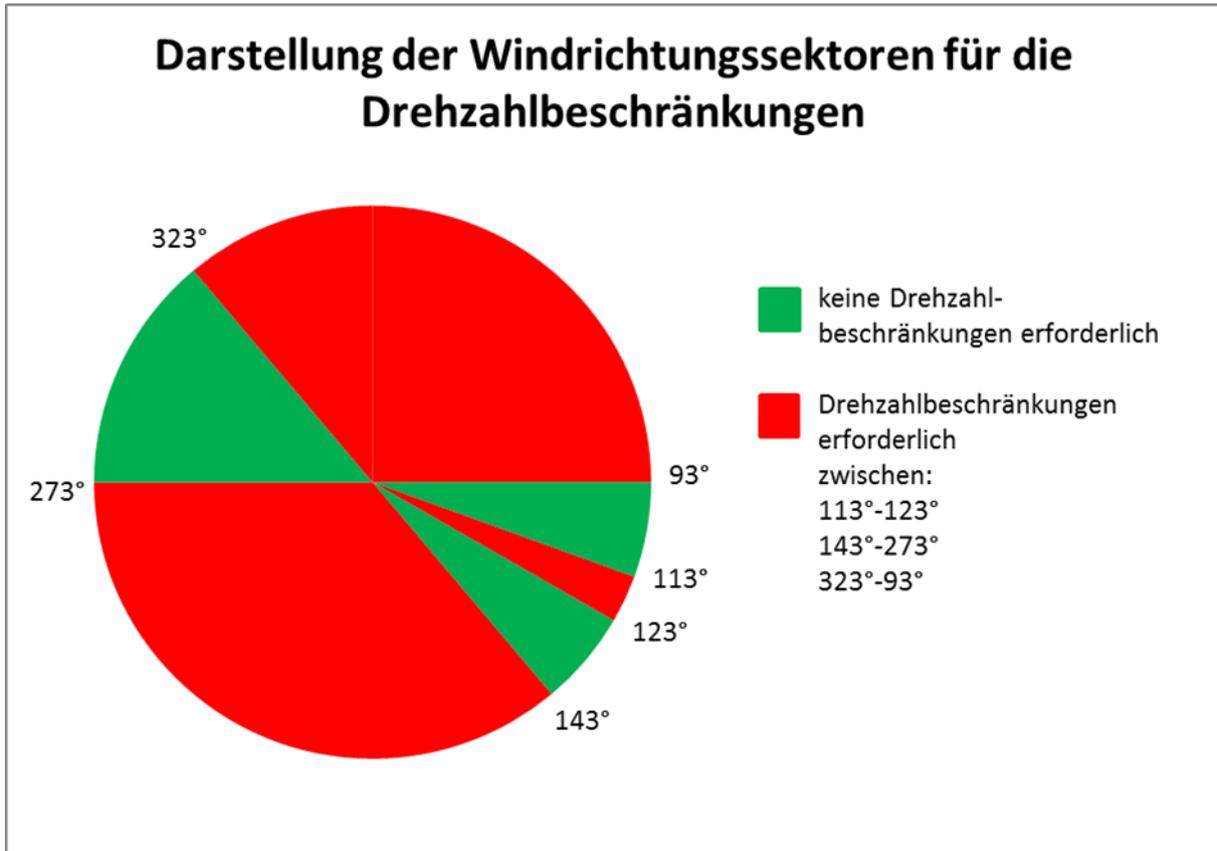


Abbildung 44: Darstellung der Windrichtungssektoren für die Drehzahlbeschränkungen

Die gemäß Tabelle 7 angegebenen Drehzahlminderungen sind nur bei den Windrichtungen erforderlich, die zu einer Lfz-Darstellungswahrscheinlichkeit führen, die oberhalb der mittleren Lfz-Darstellungswahrscheinlichkeit liegen. Diese Windrichtungssektoren sind in der Abbildung 44 rot dargestellt.

## **Bewertung:**

Grundlage sind die technischen Erfordernisse des Radarsystems ASR-S oder funktionsgleicher anderer Radarsysteme, sowie die WEA-Standorte gemäß Tabelle 7.

Untersucht wurden die Situationen „Bestand“, „Planung“ und „Abschaltung“ bei beiden untersuchten Windrichtungen, sowie zusätzlich „Steuerfkt. opt“ bei der Windrichtung II. Die hierbei berücksichtigten Betriebszustände der Windenergieanlagen sind nachfolgend angegeben.

### Situation „Bestand“:

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Rückbau benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

### Situation „Planung“ :

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Planung benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

### Situation „Abschaltung.“:

Die in Tabelle 7 mit Bestand benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt.

### Situation „Steuerfkt. opt“:

Die in Tabelle 7 mit Bestand und Planung benannten Anlagen wurden als aktiv berücksichtigt. Die Planungsanlagen sind dabei mit der angegebenen Rotordrehzahlbegrenzung berücksichtigt.

### Bewertung für die Windrichtung I bei 308°:

Auf der Grundlage der durchgeführten Überflugbewertungen bzgl. zu erwartender Trackverlustwahrscheinlichkeiten von LFZ kann festgestellt werden, dass bei allen untersuchten Situationen und Überflügen ein Störzelligebiet vorliegt, bei dem bzgl. der Radaranlage Wittmund Trackverlustwahrscheinlichkeiten für ein LFZ mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$  von über 50 % vorliegen. Die Abschaltung der geplanten Windener-

gieanlagen bei der Windrichtung I zeigt aufgrund der starken Belastung durch den Bestand keine nennenswerten Vorteile gegenüber der geplanten Situation.

#### Bewertung für die Windrichtung II bei 268°:

Auf der Grundlage der durchgeführten Überflugbewertungen bzgl. zu erwartender Trackverlustwahrscheinlichkeiten von LFZ kann festgestellt werden, dass bei der untersuchten Situation „Bestand“ ein Störzelligebiet vorliegt, bei dem bzgl. der Radaranlage Wittmund bei allen untersuchten Überflügen Trackverlustwahrscheinlichkeiten für ein LFZ mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$  von über 50 % vorliegen. Bei der Situation „Planung“ wird die Trackverlustwahrscheinlichkeit für die Überflugpfade A bis C auf unter 60 % deutlich gemindert. Bei den Situationen „Abschaltung“ und „Steuerfkt. Opt“ liegt bei den Überflugpfaden A bis C eine Trackverlustwahrscheinlichkeit für ein LFZ mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$  von unter 50 % vor. Für den tangentialen Überflug liegt bei allen untersuchten Situationen eine Trackverlustwahrscheinlichkeit von über 50 % vor.

Trackverlustwahrscheinlichkeiten von über 50 % sind für ein Lfz mit einem RQS von  $3 \text{ m}^2$  bei einem Überflug gemäß den Forderungen und Festlegungen der Flugsicherung radartechnisch nicht zulässig. Ein RQS von  $3 \text{ m}^2$  entspricht z. B. einem einmotorigen Sportflugzeug.

Im Zusammenhang mit dem Flugpfad D sei darauf hingewiesen, dass bei tangential orientierten Flugpfaden relativ zum Standort des Radarsystems generell Einschränkungen bei der Darstellung von Lfz-Bewegungen aufgrund fehlender radialer Dopplerinformationen vorliegen.

Die Untersuchung wird für die Windrichtungen 308° und 268° durchgeführt, um bzgl. der Lfz-Darstellungswahrscheinlichkeit den Worst-Case sowie den Mittelwert abzudecken.

Es muss stets dabei deutlich unterschieden werden zwischen der grundsätzlich angegebenen Möglichkeit für einen Lfz-Trackverlust, der als Kumulation verschiede-

ner Ergebnisse angegeben wird, und der Wahrscheinlichkeit, dass ein Lfz-Zielverlust bei einer bestimmten Detektion eintritt. In dem Zusammenhang ist zu beachten, wie lange ein derartiger Verlust gegeben ist.

Bei der vorliegenden detaillierten Bewertung wurden die jeweiligen anlagenspezifischen RQS-Daten sowie die individuellen Rotordrehzahlen der untersuchten WEA-Typen berücksichtigt. Gegenüber einer vereinfachten pauschalen Abschätzung mit der den militärischen Behörden vorliegenden Software, können sich teilweise erhebliche Unterschiede ergeben, da diese Software als Datenbasis für die RQS-Werte von WEA nur auf eine sehr geringe und abstrahierte Mixtur von WEA-Typen zurückgreift, bei derer eine Berücksichtigung der Rotordrehzahlen, sowie der weiteren WEA-gerätetypischen Eigenschaften nicht erfolgt.

Eine ausführliche technische Bewertung der Überflugproblematik, der Radardarstellung sowie unterstützender bzw. kompensierender Maßnahmen erfolgt in Kapitel 13.

### **Empfehlung:**

**Unter Abwägung der verschiedenen untersuchten Situationen und Überflugpfade ist die Rotordrehzahl für die geplanten Windenergieanlagen bei Überflügen auf die gemäß Tabelle 7 angegebenen Werte zu begrenzen. Die Rotordrehzahlbeschränkung, bzw. die Abregelung der neuen WEA im Rahmen eines Fremdzugriffs ist nur bei den in Abbildung 44 angegebenen Windrichtungen (rote Richtungssektoren) erforderlich.**

**Bei Windrichtungen die eine zur Windrichtung 308° vergleichbare ungünstige Situation bzgl. der LFZ-Darstellungswahrscheinlichkeit darstellen (in Abbildung 44 grüne Richtungssektoren), ist keine Drehzahlbeschränkung erforderlich, da selbst eine Abschaltung der geplanten Windenergieanlagen aufgrund der starken Belastung durch den Bestand keine technischen Vorteile gegenüber der geplanten Situation zeigt.**

**D.h., ob in den grün dargestellten Windrichtungsbereich die WEA abgeregelt werden oder nicht, wird keinen Unterschied bzgl. der Trackdarstellung direkt überquerender LFZ bewirken.**

**Durch diese Bedingungen ist inhaltlich die Forderung des BMVg bzw. der Bundeswehr, durch eine bedarfsgerechte Steuerung von WEA einen Situation sicher zu stellen, die eine sichere, radarbasierte Flugführung zulässt, erfüllt.**

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 Dipl.-Ing. (FH) T.Bischoff 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

## Anhang A: Abkürzungen und Begriffe

ASR	=	Airport Surveillance Radar (Primärradar)	2-D-Radar
CFAR	=	Constant False Alarm Rate; Algorithmische Methode zur Detektion von Zielsignalen, welche vom Störsignal überlagert sind	
DCM	=	Doppler Clutter Map	
Detektion	=	Schwellwertüberschreitung des Pegels des Radar-Echosignals	
DVOR	=	Doppler-UKW-Drehfunkfeuer	
HADR	=	Typenbezeichnung eines Radargerätes zur Luftverteidigung	
ICAO	=	Internationale Zivilluftfahrtorganisation	
Lfz	=	Luftfahrzeug	
Lfz-Zielverlust	=	Bei ausschließlicher Bewertung der Primärradarerfassung liegt ein Lfz-Zielverlust vor, wenn in unmittelbarer Folge die Darstellung einer Lfz-Position durch WEA beeinträchtigt wird, und in dem Zusammenhang keine eindeutige Zuordnung/Identifikation zwischen dargestelltem Ziel und einem Lfz herstellbar ist.	
LV-Radar	=	Radar zur Luftverteidigung;	3-D-Radar
MoM	=	Momentenmethode ; Analyseverfahren zur Hochfrequenzausbreitung	
MPR	=	Typenbezeichnung eines Radargerätes zur Luftverteidigung	
NH	=	Nabenhöhe	
PD	=	Detektionswahrscheinlichkeit	
Plot	=	Punkt- bzw. Positionsdarstellung auf dem Radarsichtschirm	
Radial	=	Betrachtung der Linie Radar-Zielobjekt	
Reichweitenminderung	=	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)
Störhäufigkeit = WEA	=	Häufigkeit der Detektion und Lfz – ähnlichen Darstellung einer auf dem Radarschirm der ASR 910.
Tangential	=	Betrachtung einer orthogonalen Linie zur Linie Radar-Zielobjekt
Track	=	Spur
WEA	=	Windenergieanlage

## **Anhang B: Informative Darstellung der Planung bei Bewertung mit der Software, die von der Bundeswehr verwendet wird**

Als ergänzende Information der Windparkbewertung werden die Ergebnisse dargestellt, die ermittelt werden, wenn das der Bundeswehr zur Verfügung gestellte WEA-Störzellen-Tool in der Version 1.5.4 vom 20.04.2018 genutzt wird.

Die nachstehenden Abbildungen geben einen informativen Überblick über die zu erwartenden Bewertungsergebnisse bei Anwendung des dem LuFaBw zurzeit zur Verfügung stehende Bewertungstools, dass eine informative Aussage zur möglichen Änderung der Einflüsse auf die DCM-Zellen des Radarortungssystems erlaubt.

Dabei werden die Charakteristika der WEA sowie die Einflüsse unterschiedlicher Windrichtungen sowie Rotordrehzahlen nicht beachtet. Ersatzweise erfolgt die Wahl eines Störtyps, der sehr grob zwischen kleinen, mittleren und großen WEAs unterscheidet.

Diese Bewertung mit dem Tool der Bundeswehr erlaubt keine Aussage zur Sicherheit oder zur Verlustwahrscheinlichkeit eines Lfz-Tracks, sondern gibt Auskunft zur Belastung einzelner DCM-Zellen. Naturgemäß ergeben sich dadurch Unterschiede gegenüber einer Detailbewertung, die eine Überflugbewertung einschließt.

Bei Anwendung der stark vereinfachten Methodologie der Bundeswehr, die von alten stark vereinfachten WEA-Daten ausgeht und nur eine Orientierung zur DCM-Zellenbelastung ermöglicht, ergeben sich nachfolgende Belastungen der DCM-Zellen (inkl. CFAR).

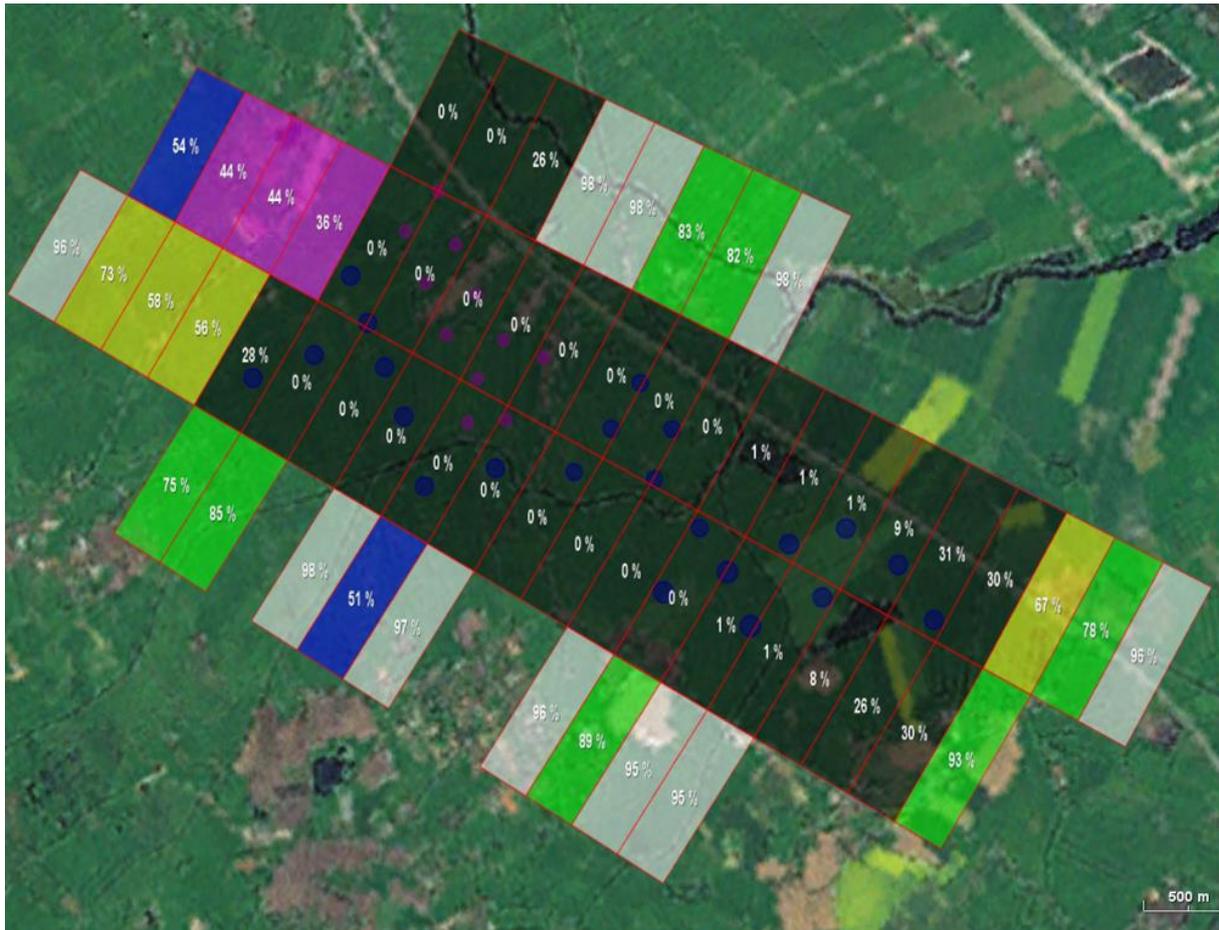


Abbildung 45: Ergebnis für die Situation „Bestand“ gemäß dem WEA-Störzellen-Tool der Bundeswehr.

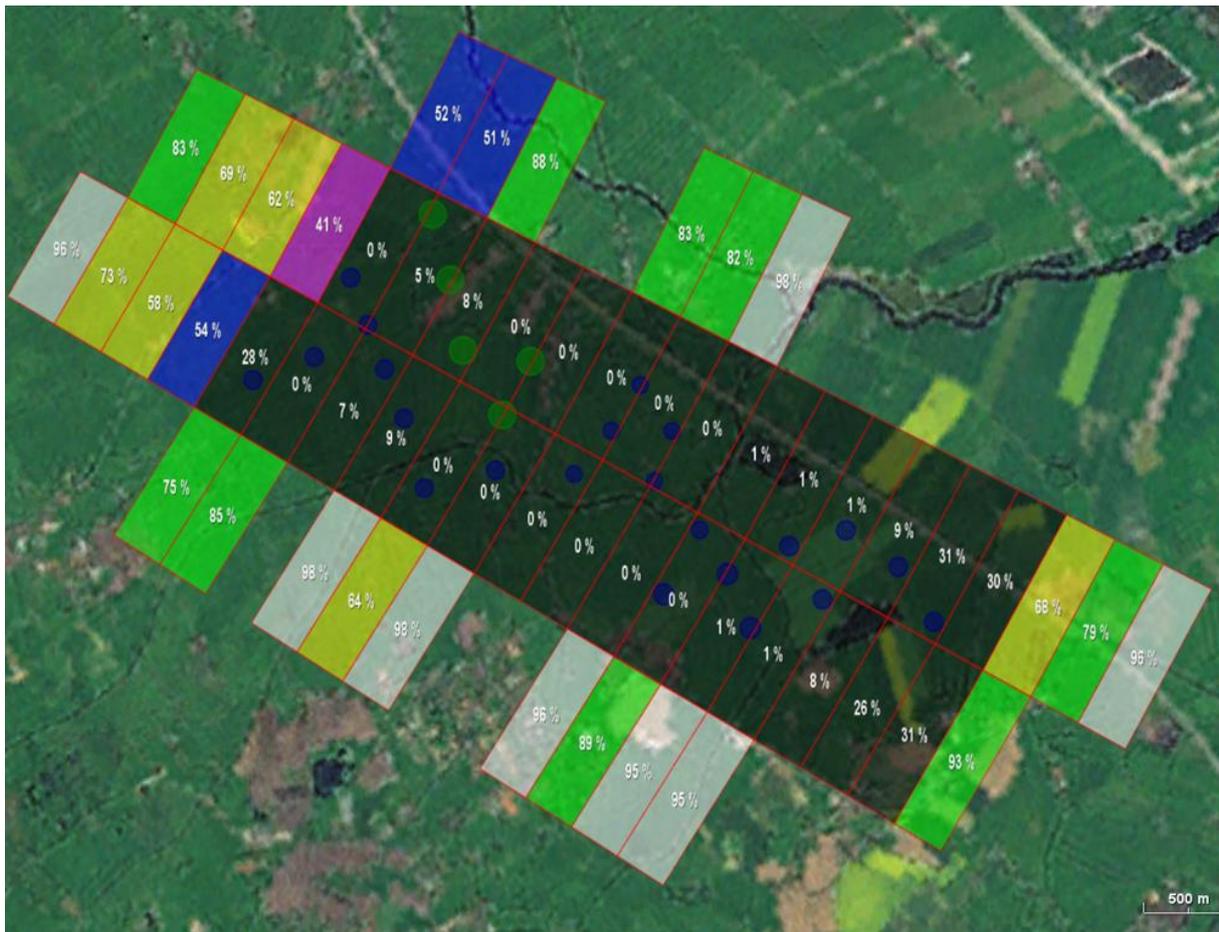


Abbildung 46: Ergebnis für die Situation „Planung“ gemäß dem WEA-Störzellen-Tool der Bundeswehr.

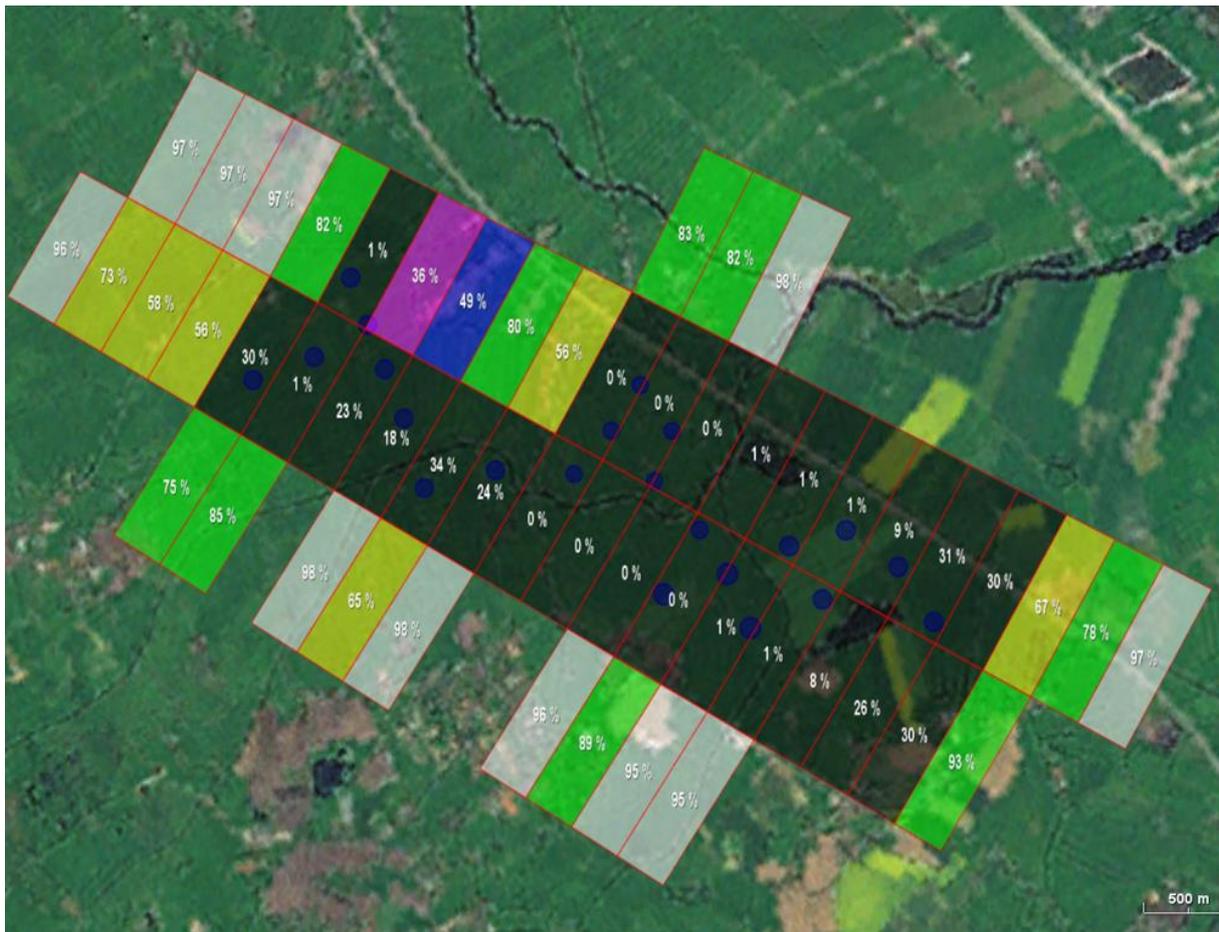


Abbildung 47: Ergebnis für die Situation „Abschaltung“ gemäß dem WEA-Störzellen-Tool der Bundeswehr.

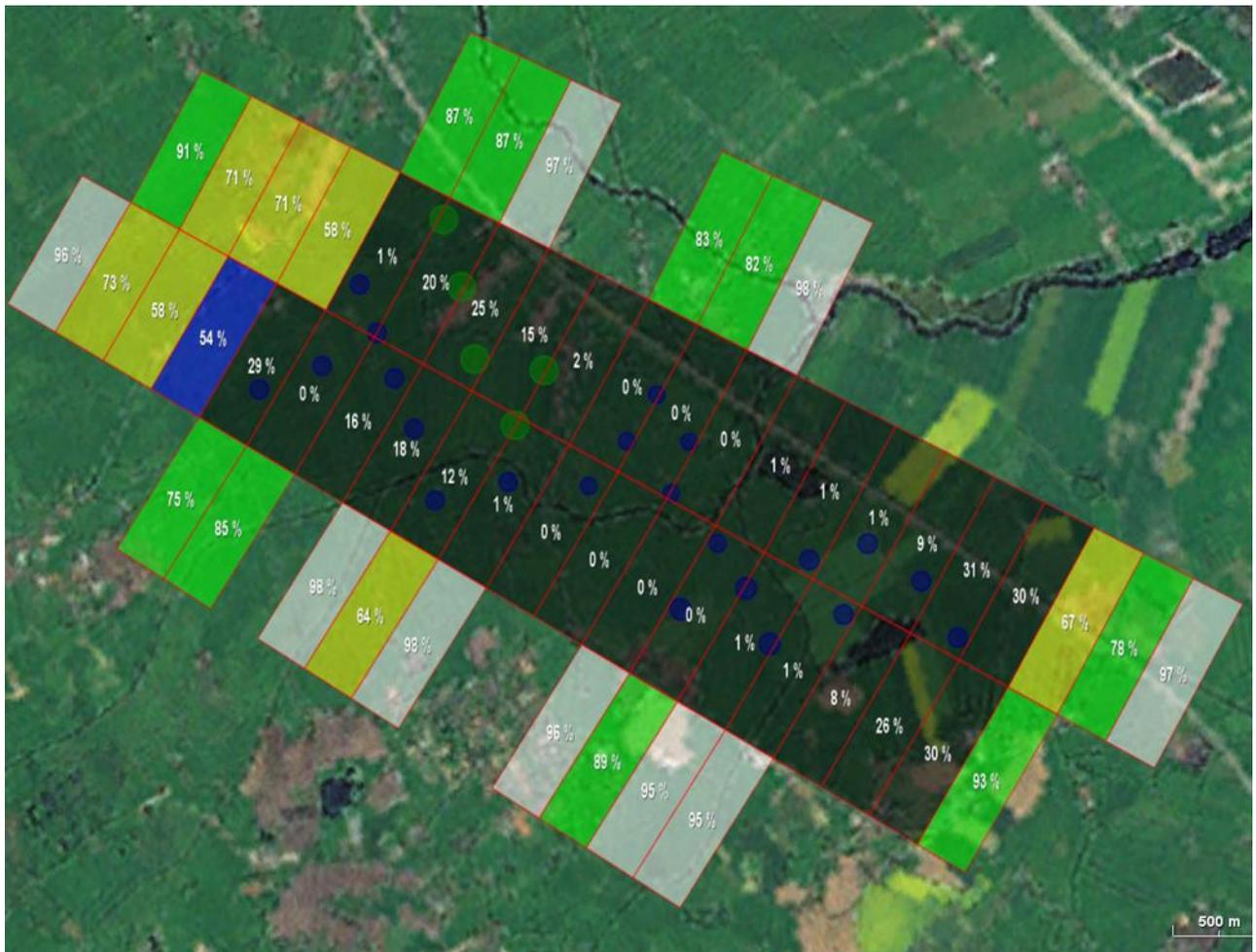


Abbildung 48: Ergebnis für die Situation „Steuerfkt. opt“ gemäß dem WEA-Störzellen-Tool der Bundeswehr.