

Grundsatzuntersuchung zu den Errichtungsmöglichkeiten von Windenergieanlagen im Schutzbereich der Wetterradaranlage Türkheim des Deutschen Wetterdienstes (DWD)

31.03.2015
(redigierte Fassung von 16.07.2015)
Nr.: TAECS42-297a/14

Auftraggeber:

Ministerium für Umwelt, Klima
und Energiewirtschaft; Referat 42
Kernerplatz 9
D-70182 Stuttgart

Auftragnehmer:

Airbus Defence and Space GmbH
Airbus-Allee 1
D-28199 Bremen



Durchgeführt von:

Dr.-Ing. A. Frye; TAECS42
(ö. b. u. v. Sachverständiger)
M. Aden, M.Sc.

Tel.: 0421 – 538 2719
Fax: 0421 – 538 3481

E-Mail: andreas.frye@airbus.com

Ausfertigungs-Nr.: - pdf -

Die technische Untersuchung besteht aus den Seiten 1 bis 152
mit den Anhängen A bis H.

Inhaltsverzeichnis:

1.	Zielsetzung und Vorbemerkung	4
2.	Ergebnisse	5
2.1.	Störeinflüsse durch Windenergieanlagen infolge von Verschattungen	6
2.2.	Störgebiet um eine WEA („Impact Zone“)	8
2.3.	Abhängigkeit der Störeinflüsse von der Abtasthöhe der Radarantenne	10
3.	Beschreibung des Radarstandortes Türkheim	15
3.1.	Weterradar Türkheim	15
3.2.	Scanstrategie des DWD für dualpolarimetrische Weterradare	19
4.	Grundsatzuntersuchung zu den radartechnischen Einflüssen von WEA	20
4.1.	Einfluss auf Radarprodukte durch WEA	21
4.2.	Referenzuntersuchung	23
4.3.	Numerische Untersuchungsverfahren	24
4.3.1.	Bewertung des radartechnischen Einflusses durch Einzelanlagen	26
4.3.1.1.	Ergebnisse zur elektromagnetischen Feldverteilung in der Fläche um eine einzelne WEA herum	28
4.3.1.2.	Elektromagnetisches Ausbreitungsfeld hinter der WEA	31
4.3.1.3.	WEA-Radarquerschnittsuntersuchungen	38
4.3.1.4.	Beispielhafte Ergebnisse für eine Enercon E-66	41
4.3.1.5.	Beispielhafte Ergebnisse für eine Nordex N100	48
4.4.	Störvolumen („Impact-Zone“)	54
4.4.1.	Theoretische Betrachtung des Störvolumens	54
4.4.2.	Definition des Störvolumens (Impact Zone)	55
4.4.3.	Anwendung auf das Messraster des Deutschen Wetterdienstes	59

4.4.4. Empfang durch Nebenkeulen	61
5. Grundsatzuntersuchung – Beispielwindparks	64
5.1. Beschreibung der örtlichen Situation	64
5.2. Untersuchung von bestehenden WEA-Gruppen	65
5.2.1. a) Kleine bestehende WEA-Gruppe	66
5.2.2. b) Große bestehende WEA-Gruppe	72
5.3. Untersuchung der Neuplanung von WEA-Gruppen	78
5.3.1. Neuplanung einer WEA-Gruppe – schlechte topografische Lage	79
5.3.2. Neuplanung einer WEA-Gruppe – günstige topografische Lage	85
5.4. Untersuchung der Erweiterung von bestehenden WEA-Gruppen	88
5.4.1. Erweiterung einer kleinen WEA-Gruppe	89
5.4.2. Erweiterung einer großen WEA-Gruppe	95
5.5. Beispiele verschiedener WEA-Anordnungen	100
5.5.1. Radiale WEA-Anordnung	101
5.5.2. Tangentiale WEA-Anordnung	107
Anhang A: Abkürzungen	113
Anhang B: Technische Daten des Wetterradars Türkheim	114
Anhang C: Vergleich zwischen Radarquerschnitt und Reflektivität	115
Anhang D: Bereitgestellte Unterlagen des Auftraggebers	132
Anhang E: Untersuchung anderer Antennenhöhen für das Radar Türkheim	141
Anhang F: Beispiele des DWD	147
Anhang G: Verwendete Software und Qualitätssicherung	150
Anhang H: Mitgenutzte Dokumente	151

1. Zielsetzung und Vorbemerkung

Das Ziel des vorliegenden technischen Gutachtens ist die Bewertung von möglichen Einflüssen durch Windenergieanlagen (WEA) im vom DWD reklamierten Schutzbereich der Wetterradaranlage Türkheim des Deutschen Wetterdienstes (DWD).

In dem Zusammenhang wird herausgearbeitet, ob geplante WEA-Vorranggebiete "störfrei" gegenüber dem Wetterradar Türkheim im 15 km Schutzbereich realisierbar sind oder welche Einflüsse und Optimierungsmöglichkeiten bestehen.

Dabei werden die technischen Bedingungen des polarimetrischen Wetterradars des DWD sowie die technischen Auswirkungen typischer Windenergieanlagen auf verschiedene Planungsgebiete beispielhaft angewendet. Die Zusammenführung dieser Sachverhalte ermöglicht eine Aussage zu jeweils gegebenem „Störpotential“ der WEA gegenüber dem Wetterradar.

Lösungsmöglichkeiten für Windenergieplanungen werden dahin gehend erörtert, ob eine Minderung oder Vermeidung des Einflusses durch die jeweilige WEA-Planung oder durch die WEA selbst oder durch die Erhöhung der Antennenposition des Wetterradars möglich ist.

Die Untersuchung behandelt somit folgende Kernpunkte:

- Beschreibung der Funktions- und Arbeitsweise des Wetterradars Türkheim
- Technische Beschreibung der grundsätzlichen Störeinflüsse durch eine und mehrere WEA auf ein Wetterradar des DWD
- Untersuchung der Auswirkungen durch WEA-Gruppen unterschiedlicher räumlicher Anordnung und Größe anhand von Beispielen bestehender Windparks im Umkreis des Radarstandortes
- Untersuchung der Auswirkungen durch die Neuplanung von WEA-Gruppen bei unterschiedlicher topografischer Lage
- Untersuchung der Auswirkungen durch die Erweiterung von bereits bestehenden WEA-Gruppen
- Erörterung von Möglichkeiten zur Minderung des WEA-Störpotentials

Das Dokument ist wie folgt gegliedert:

- Kapitel 1: Zielsetzung sowie Vorbemerkungen zum Gutachten
- Kapitel 2: Zusammenfassung der grundsätzlichen Ergebnisse des Gutachtens
- Kapitel 3: Untersuchungen zum Wetterradar sowie zur Abtastung des Luftraumes durch das Wetterradar
- Kapitel 4: Untersuchungen zu den Einflüssen von WEA
- Kapitel 5: Die Anwendung sowie die Darstellung der Bedeutung und der Auswirkungen dieser Wechselwirkungen auf verschiedene Gruppierungen von Windenergieanlagen. Es werden auf der Grundlage Empfehlungen ausgesprochen.
- Anhänge: Beispiele des DWD und Interpretationen zum Einfluss von WEA

2. Ergebnisse

Das Radar tastet den umgebenden Luftraum in allen Richtungen und verschiedenen Höhen ab.

Diese Radarabtastung im Raum wird durch Windenergieanlagen auf sehr unterschiedliche Weise beeinträchtigt oder behindert bzw. gestört. Erfasste Windenergieanlagen wirken sich daher infolge ihrer baulichen Dimensionen auf die Radarmessung von Wetterereignissen aus.

2.1. Störeinflüsse durch Windenergieanlagen infolge von Verschattungen

Infolge ihrer statischen Dimension beeinträchtigen Windenergieanlagen das vom Radar abgestrahlte elektromagnetische Feld. Windenergieanlagen behindern daher bei einer Realisierung in kurzen Entfernungen die weitere Ausbreitung des Feldes durch Verschattungen.

Verschattungen ergeben sich durch

- Beeinflussung des elektromagnetischen Feldes hinter der WEA durch Streufelder
- Dämpfung, bzw. Leistungsminderung des Radarsignals durch WEA im Raumbereich hinter der WEA

Diese verschattungsbedingten Einflüsse sind ausschließlich in einem schmalen Richtungskorridor jenseits der WEA gegeben.

- Sie sind bei größerer Entfernung der WEA zum Radarstandort ab ca. 5 km Distanz insbesondere aufgrund der Volumenmessung eines Wetterraders nicht mehr praxisrelevant für die Messung eines Wetterraders.

[8]

Diese Störeinflüsse durch WEA sind abhängig von den folgenden Größen:

- Höhe der WEA relativ zum Radarstandort sowie Distanz zum Radar
- Anordnung der WEAs innerhalb eines Windparks (perspektivische Verdichtung bzw. geometrische Anordnung wie z. B. tangential oder radial relativ zum Radar ausgerichtet)
- Topografische Randbedingungen bzgl. Verschattungen etc.
- WEA-Typ (speziell: Gondel- und Turmdimensionen)

[8]

Zusammenfassung:

- **Ausschließlich der statische Anteil der WEA (bis Gondelhöhe) wird dabei wirksam.**
- **Durch die Rotorblätter wird keine praxisrelevante Verschattung generiert, vgl. Kapitel 4.3.1**
- **Ein Zusammenhang mit einer festen Schutzzonenausdehnung besteht nicht.**
- **Verschattungen durch einzelne WEA sind bei größeren Distanzen als ca. 5 km zum Radar nicht mehr praxisrelevant.**

Grundsätzliche Maßnahmen zur Minderung der Einflüsse:

Die Intensität dieser Einflüsse wird zunächst durch die statische bauliche Dimension einer WEA bestimmt. Bei WEA-Gruppierungen, die für die Perspektive des Radarstandortes eine sehr enge Anordnung mit geringer seitlicher Separation bewirken, sind Überlagerungen dieser Verschattungseinflüsse möglich. Diese können sich bei sehr starker Verdichtung grundsätzlich auch in größeren Distanzen als z. B. 5 km messtechnisch auswirken. Dieser Sonderfall ist jedoch bisher messtechnisch nicht rückführbar bestätigt worden. Minderungen sind somit nur durch Höhenbeschränkungen und durch optimierte Windparklayouts möglich, die enge Anordnung vermeiden sollen. Die Anordnung von zwei WEA auf exakt gleichem Richtungsbezug ist jedoch wie bei militärischen Radaranlagen zur Luftüberwachung möglich. Dort ist dieser vorteilhafte Aspekt messtechnisch nachgewiesen. [8]

2.2. Störgebiet um eine WEA („Impact Zone“)

Durch die Bewegung des Rotors einer Windenergieanlage detektiert das Wetterradar über die Dopplerinformation der Reflexion ein bewegtes Objekt. Die bei Radarsystemen in der Regel vorhandene Festzielunterdrückung durch Clutterfilter kann ein derartiges Objekt, obwohl es ortsfest ist, nicht verarbeiten. Zugleich ist die Reflexionsintensität dieser Bewegzielinformation um Dekaden größer als die zu messenden meteorologischen Größen. Diese werden daher überblendet. Bei intensiver Reflexion ist keine verlässliche Messung in diesem Nahbereich/„**Störgebiet**“ der WEA möglich. Da es bis heute an systematischen rückführbaren Referenzmessungen fehlt, wird zur qualitativen Bewertung ein „Störgebiet“ um eine WEA definiert, in dem die Daten für die Signalverarbeitung und die weiterführende rechnergestützte Interpretation nicht nutzbar sind. Es kann in diesem Zusammenhang heute noch keine sichere Aussage zur Intensität der Betroffenheit erfolgen, vgl. auch Anhang C.

Eine Folge sind Fehlinterpretationen der gemessenen Daten. Lokale Wetterphänomene am Ort der WEA in diesem Nahbereich werden daher nicht erkannt, da die Daten nicht nutzbar sind.

Störungen durch die Rotorbewegung infolge Dopplerreflexionen, bzw. Fehlechos durch WEA ergeben sich durch

- die Reflexion der bewegten Rotoren einer WEA
- Überdeckung der Messungen von Wetterphänomenen im Nahbereich der WEA
- Die Ausdehnung der betroffenen Umgebung um eine WEA wird durch das räumliche Auflösungsvermögen des Wetterradars und die Intensität der Überdeckung bestimmt. Diese Ausdehnung nimmt mit der Entfernung zu, da die azimutale Auflösung des Radars mit zunehmender Distanz, in Meter angegeben, schlechter wird.

Zusammenfassung:

- **Ausschließlich der bewegte Anteil (Rotor) der WEA unter Berücksichtigung der Eigenhöhe des Rotors ist relevant.**
- **Bei Anordnung mehrerer WEA ergänzen sich diese betroffenen einzelnen Umgebungszone in ihrer Ausdehnung.**
- **Der Einfluss ist nur in der unmittelbaren Umgebung der WEA gegeben. Diese Ausdehnung nimmt mit der Entfernung zu.**
- **Ein Zusammenhang mit einer festen Schutzzonenausdehnung besteht nicht.**

Lösungen und Maßnahmen zur Minderung der Einflüsse:

Eine Minderung dieser WEA-Reflexionsintensität mindert die Intensität der Überlagerung der zu messenden Wetterphänomene. Bei geringerer Reflexionsintensität wird die Ausdehnung der betroffenen WEA-Umgebung geringer sein. Minderungen sind ebenfalls durch optimierte Windparklayouts möglich, die die unmittelbare Ergänzung oder die Überlagerungen durch eine enge Anordnung und Verbindung der WEA-Umgebungszone vermeiden. Diese beiden Sachverhalte sind bei anderen Radarsystemen, die der Flugsicherung dienen und die mit WEA eine identische Wechselwirkung zeigen, messtechnisch nachgewiesen, vgl. auch Anhang C.

2.3. Abhängigkeit der Störeinflüsse von der Abtasthöhe der Radarantenne

Sowohl die Einflüsse durch Verschattungen der statischen WEA-Anteile, als auch die Einflüsse durch die Reflexion der bewegten WEA–Anteile sind nur relevant, wenn die Radarantenne zur WEA orientiert ist und der entsprechende Höhenwinkel bzw. „Scan“ der Antenne die WEA erfassen kann. Insbesondere die Höhe und die zeitliche Folge der Raumabtastung durch das Radar ist hier von besonderer Bedeutung: Innerhalb des 5 Minuten-Intervalls werden 10 Höhenwinkel (Volumenmessungen) abgetastet, zusätzlich erfolgt die Abtastung eines sehr bodennahen Höhenwinkels (Precipitationscan, bzw. Niederschlagsscan). [23], [28]

Nur der Precipitationscan und die unterste Volumenmessung können hier durch Windenergieanlagen betroffen sein, da die höheren Abtastungen zum Teil deutlich oberhalb der Windenergieanlagen den Luftraum abtasten.

Da durch den DWD ein besonderes messtechnisches Interesse an bodennahen Niederschlagsmessungen besteht, wird die zeitliche Folge der Volumenmessungen durch einen zusätzlichen bodennahen Precipitationscan unterbrochen, um eine kurze Wiederholungsrate von ca. 2,5 Minuten zu realisieren.

Die Höhenwinkel der untersten Scans werden sehr stark durch die vorhandene Umgebungstopografie beschränkt. Beim Radar Türkheim liegt ein in verschiedenen Richtungen unterschiedlich stark beschränkter Höhenwinkel vor, da die Topografie hier eine natürliche untere, aber höhere Beschränkung vorgibt, als in der DWD-Schutzzonenfestlegung angegeben.

Störungen durch die Rotorbewegung infolge Dopplerreflexionen sowie durch die statischen Anteile einer WEA ergeben sich für

- den niedrigen Precipitationscan sowie
- für den untersten Volumenscan.

Zusammenfassung:

- **Ausschließlich der niedrige Precipitationscan des Wetterradars, sowie in einzelnen Fällen der unterste Höhenwinkel, kann durch WEA betroffen sein.**
- **Infolge der Topografie liegen beim Radar Türkheim in verschiedenen Richtungen natürliche Beschränkungen vor, die bei flacher Umgebungstopografie nicht gegeben sind, vgl. Abbildung 1.**
- **Ein Zusammenhang mit einer festen Schutzzonenausdehnung besteht nicht.**

2.4. Anmerkungen zur Höhenbeschränkungen der Schutzzone des DWD:

Die Höhenbegrenzung des DWD ist ein Hilfsmittel, welches ausschließlich geometrisch auf Grundlage der Erdkrümmung ermittelt wurde. Ein Störeinfluss kann ebenso unterhalb der Höhenbegrenzung auftreten (z. B. Empfang durch Nebenkeulen). Radarmessergebnisse sowie Simulationen haben ebenfalls gezeigt, dass auch außerhalb des 15 km-Schutzbereiches Störeinflüsse durch WEA vorliegen. Die Flächenausdehnung von WEA-Störgebieten nimmt beispielsweise bei steigender Entfernung zum Radarstandort aufgrund des größer werdenden Auflösungsvolumens zu (sofern die WEA noch durch das Radar unter Berücksichtigung der Höhe erfasst wird), wo hingegen der Verschattungseffekt bei zunehmender Entfernung zu vernachlässigen ist.

Durch Änderungen bzw. Anhebung der Antennenhöhe werden sich die Höhenbeschränkungen für die Windenergievorranggebiete geringfügig entspannen. Im Hinblick auf einzelne Vorranggebiete muss die Antennenposition jedoch um mehrere 10 m deutlich erhöht werden, vgl. Kapitel 5.

Die Ergebnisse zeigen, dass für die beispielhaft untersuchten WEA-Gruppierungen eine Radarantennenerhöhung um ca. 150 m erforderlich wäre, wenn eine formale Lösung für die gesamte Umgebung innerhalb eines 15 km Bereiches um den Radarstandort auf diese Weise erreicht werden soll.

Wenn radartechnisch sehr ungünstige, topografisch sehr hohe Lagen für WEA ausgeschlossen werden können, z. B. in südwestlicher Richtung (vgl. Anhang E) ist eine moderate und damit technisch realistischere Erhöhung der Radarantennenposition um ca. 60 m eine Lösung für die Mehrzahl der untersuchten Fälle. In diesem Zusammenhang wird eine Änderung des Schutzzonenverständnisses, die Höhenbeschränkungen auf die statische Höhe einer WEA (Gondelhöhe) zu beziehen, zusammen mit einer geringeren Erhöhung der Antennenposition als 60 m eine für alle Windenergievorranggebiete formale und technische Kompromisslösung darstellen.

2.5. Bewertung der meteorologischen Folgen:

Verschattungen:

Durch Verschattungen infolge der statischen Anteile der Windenergieanlagen sind in schmalen Raumsektoren hinter den WEA Feldstärkeminderungen zu erwarten. Hier unterscheiden sich WEA nicht von anderen hohen Bauwerken. Infolge der elektromagnetischen Beugung entsteht dabei jedoch kein Raumsektor, in dem die Messung von Wetterphänomenen ausgeschlossen ist. Durch diese Verschattungen wird die Feldstärke in diesem Raumbereich geringfügig um maximal 1 dBz herabgesetzt, sofern die WEA eine Distanzen von mehr als 5 km zum Radar zeigt und die Antenne überragt (vgl. auch Anhang F). Die vom DWD festgelegten „Warngrenzen“ orientieren sich an Reflektivitätsgrenzwerten, die frei festgelegt wurden. Wenn ein meteorologisches Ereignis beispielsweise mit der Reflektivität 46 oder 55 dBz gemessen ist, wird durch Erreichung dieser Reflektivitätsklasse auf ein „warnwürdiges Ereignis“ geschlossen. Infolge von WEA Einflüssen kann in einem durch Verschattungen betroffenen Sektor diese gemessene Reflektivität um z. B. 1 dBz herabgesetzt werden (vgl. Kapitel 4.3.1.). Eine Warnung kann deshalb im Einzelfall unterbleiben. Dabei sind jedoch die Unterschiede von 1 dBz kein Maßstab, der zwischen einem warnwürdigen Ereignis und einem nicht warnwürdigen Ereignis unterscheidet. [23], [28]

Möglichkeiten zur Minderung oder Lösung:

Durch Änderungen dieser frei festgelegten Grenzwerte ist keine unmittelbare Lösung dieses Sachverhaltes möglich. Eine feinere Abstufung der bisherigen Grenzwerte wird bei der Interpretation der Daten diese Problematik für alle hohen Bauwerke, nicht nur Windenergieanlagen, deutlich mindern.

Störzonen:

Durch die Überblendung von Wetterphänomenen im Nahbereich um eine WEA ist die Auswertung und Nutzung dieser Daten nicht möglich. Betroffen sind jedoch nur der Orts- und der Höhenbereich der WEA. Warnwürdige Ereignisse wie Gewitter/Mesozyklone bzw. starke Windwirbel/Meso-Wirbel haben jedoch eine räumliche Ausdehnung, die in der Regel eine Ausdehnung von 2 bis 10 Kilometer sowie einen Höhenbereich abdecken, der eine signifikant größere Ausdehnung und Höhe hat, als die durch WEA betroffenen Störzellen und Radarscans.

Möglichkeiten zur Minderung oder Lösung:

Eine deutliche Minderung oder Vermeidung des Problems ist durch die Vermeidung ausgedehnter kompakter WEA-Gebiete im Rahmen der Planung sowie bei Repowering möglich. Reflexionsminderungen der WEA können diese Maßnahme wirksam unterstützen, vgl. Anhang C.

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 nicht möglich. Bei Änderungen der WEA-Konstruktionen oder bei abweichenden Geländeprofilen verlieren die ermittelten Ergebnisse ihre Gültigkeit.

Alle Untersuchungsobjekte sind hinsichtlich Konstruktion und Material vom Auftraggeber vorgegeben worden. Alle Untersuchungen und theoretische Analysen sind vom Auftragnehmer persönlich überwacht oder durchgeführt worden. Der Schwerpunkt der Unterstützung durch M. Aden, M. Sc. liegt in der Durchführung der Simulationsverfahren nach festgelegten Prozessen. Alle genutzten Hilfsmittel sind Eigentum der Airbus Defence and Space GmbH, Betriebsstätte Bremen. Sie entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Lehre und der Erfahrung aus der Praxis.



Dr. -Ing. A. Frye; 16.07.2015

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für
Hochfrequenz- und Signaturtechnik

3. Beschreibung des Radarstandortes Türkheim

Der Standort des Wetterraders Türkheim ist durch eine sehr unregelmäßige topografische Umgebung gekennzeichnet. Die Abtastung im Raum durch die Radarantenne unterliegt in verschiedenen Richtungen sehr unterschiedlichen unteren Höhenbeschränkungen.

3.1. Wetterradar Türkheim

Die Aufgabe eines Wetterraders ist die Erfassung von Wetterdaten. Die Intensität sowie die Polarisierung der Reflexion von Wetterphänomenen liefern dabei Informationen über Art und Dichte von Niederschlägen.

Dabei wird der Raum mittels einer drehenden Antenne, die einen auf ca. 1° gebündelten Strahl aussendet, in verschiedenen Höhen nacheinander abgetastet. Diese Prozedur beansprucht insgesamt einen Zeitraum von ca. 5 Minuten für die neue dualpolarimetrische Radargerätegeneration.

Nachstehend sind die Standortparameter zum Radar angegeben:

- Typ: EEC DWSR-5001C
- Frequenz: 5,6 GHz
- Antennenöffnungswinkel: ca. 1°
- Antennenhöhe: 765 müNN
- Geländehöhe: ca. 733 müNN

[3]

(Hinweis: Eine umfangreichere Liste der technischen Daten des Radarsystems ist in Anhang B zu finden.)

Nachstehend sind die

- a. zeitliche Folge sowie die Höhenwinkel der Radarantenne,
- b. richtungsabhängigen unteren Höhenwinkelbeschränkungen durch die Topografie, sowie
- c. die formale Höhenbeschränkung gemäß der Schutzzonenfestlegung des DWD einander gegenübergestellt:

zu a.) Zeitliche Folge / Scanstrategie

Die Strategie des DWD sieht folgende ideale Elevationswinkel und Reihenfolge für die Raumabtastung vor. Vor jedem **Volumenscan (grün)** erfolgt ein **Niederschlagsscan (rot)**.

0,8°→5,5°→4,5°→3,5°→2,5°→1,5°→0,5°→8,0°→12,0°→17,0°→25,0°→0,8°→5,5°→4,5°→.....



Dauer: 5 Minuten

Die unregelmäßige zeitliche Folge der Höhenabtastung innerhalb des 5 Minuten-Intervalls hat zum Ziel, ein möglichst kurzes Intervall bei bodennahen Messungen zu realisieren. Nachteile, die sich aus der Folge der oberen Abtastung ergeben können, werden im nachfolgenden nicht bewertet, da sich hieraus keine unmittelbaren Folgen für die Wechselwirkungen mit Windenergieanlagen ergeben.

Der Elevationswinkel des Niederschlagsscans liegt üblicherweise bei 0,8°, wird aber wenn nötig standortabhängig und sektorweise an die örtliche Topografie angepasst. Am Standort Türkheim variiert die Elevation aufgrund der gegebenen Topografie zwischen 0,7° und 1,5° (Stand: 2014).

zu b.) Richtungsabhängige Höhenwinkelbeschränkungen

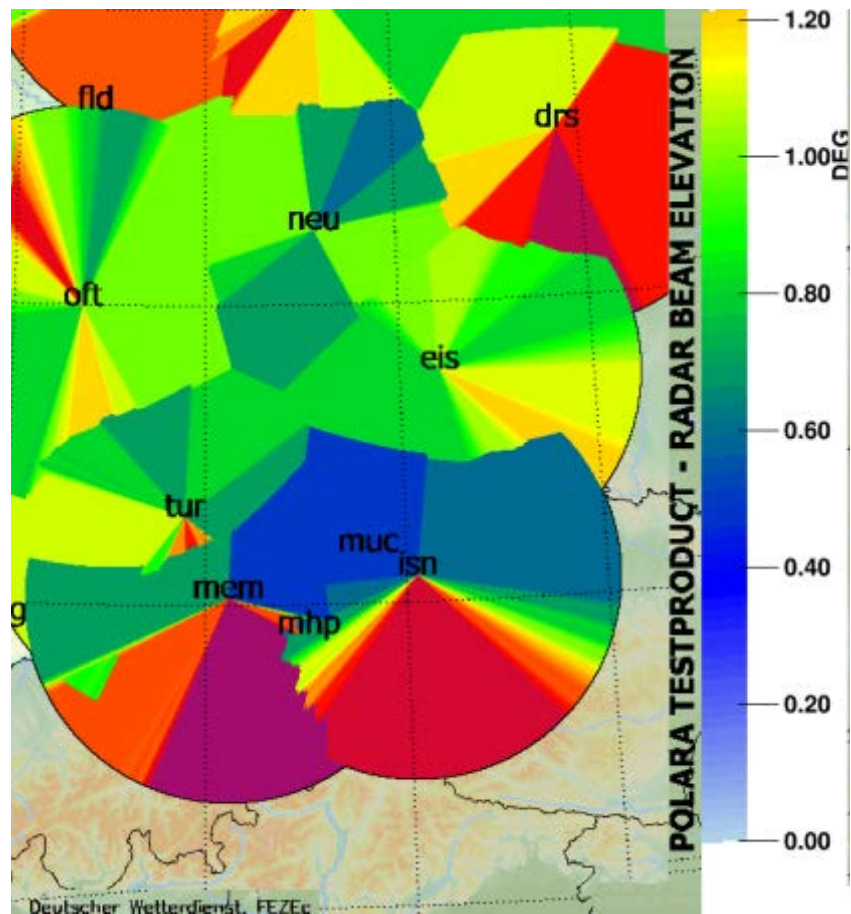


Abbildung 1: Untere Höhenwinkel bei Radarstandort Türkheim = „tur“ (Quelle: DWD)

zu c.) Formale Höhenbeschränkung des DWD

Der Deutsche Wetterdienst fordert, dass der nähere Umkreis von fünf Kilometern um den Radarstandort von WEA freizuhalten ist. Ab einem Umkreis von fünf Kilometern sieht der DWD am Standort Türkheim die nachfolgenden Höhenbegrenzungen zur Errichtung von WEA vor:

Entfernung zum Radar in [km]	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Höhenbegrenzung in [müNN]	766	767	768	770	771	772	774	776	778	780	782

Tabelle 1: Höhenbegrenzung des DWD am Standort Türkheim [29]

Zusammenfassung:

Der Antennenbeam mit einer Breite von 1° (an den 3dB Punkten) erfasst eine WEA, über das Zeitintervall gemittelt, damit für einen Zeitabschnitt von ca. 0,075 Sekunden. In dieser Zeit durchläuft ein typischer WEA-Rotor von 100 m Durchmesser bei 10 U/min einen Winkelbereich von ca. 4° bis 5 °. Es erfolgt somit eine Momentaufnahme des WEA-Rotors.

Während die Höhenbeschränkungen zur Errichtung von WEA keine Objekte oberhalb eines Elevationswinkels von 0,0° zulassen, bezogen auf die Höhenposition der Radarantenne (geringfügig größere Höhen bei zunehmender Distanz basieren auf der Krümmung der als ideale Kugel angenommen Erdoberfläche) zeigt die Einstellung zum Radarstandort Türkheim gemäß der Abbildung 1 bei verschiedenen Richtungen unterschiedliche Beschränkungen der untersten Elevation aufgrund der gegebenen Topografie zwischen 0,7° und 1,5° (Stand: 2014).

Die Höhenbeschränkungen für WEA innerhalb der vom DWD festgelegten Schutzzone berücksichtigen nicht die durch die Topografie gegebenen Beschränkungen. Mit anderen Worten, die Topografie erfüllt nicht die Anforderungen an die Schutzzone. Weiter wird die Erfassung von Einflüssen, u.a. durch WEA über die Nebenkeulen, d.h. auch ober- sowie unterhalb der Hauptsenderichtung nicht berücksichtigt. Die Anwendung der Höhenbeschränkung hilft lediglich praxisrelevante Störungen weitgehend zu vermeiden.

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

3.2. Scanstrategie des DWD für dualpolarimetrische Wetterradare

Die o. g. Scanstrategie, mit welcher der Umgebungsbereich eines Wetterradars des Deutschen Wetterdienstes abgetastet wird, wurde auf die neue Radargerätegeneration angepasst und gliedert sich in zwei unterschiedliche Scanarten:

- Volumenscan (volume-scan) / 3-dimensionales Messergebnis
 - Vermessung der Atmosphäre bis zu einer Höhe von 12 km in 10 Schritten (Elevationswinkel, siehe unten)
 - Bestimmung von Höhe, Breite und der Radialgeschwindigkeit (Radialwind) von großen Niederschlagsgebieten
 - Bodennahe Niederschlagsdaten und Abschätzung der Vertikalstruktur von Niederschlagsgebieten
 - 180 km Reichweite
 - Grundlage des Warnproduktes DW (Schauer-, Hagel- und Scherwindwarnungen). *Wird bei Überschreiten von Grenzwerten ausgelöst. Niederschlagsart (z. B. Regen, Hagel oder Schnee) wird durch Auswerten der Polarisation ermittelt.*
- Niederschlagsscan (Precipitationscan) / 2-dimensionales Messergebnis
 - Bodennahe Messung bei ca. 0,8° Elevation
 - Wird alle 5 Minuten erneuert
 - 150 km Reichweite
 - Grundlage des automatischen Unwetterwarnproduktes KONRAD (Zellverlagerungsverfahren) des DWD (*Wird bei Überschreitung eines Grenzwertes rechnergestützt automatisch ausgelöst.*)

4. Grundsatzuntersuchung zu den radartechnischen Einflüssen von WEA

Die unterschiedlichen Einflüsse von WEA im elektromagnetischen Feld können auf der Grundlage von CAD-Modellen zusammen mit numerischen Verfahren zur elektromagnetischen Ausbreitung quantitativ sehr genau beschrieben werden. Nachstehend sind die Einflüsse im Einzelnen beschrieben.

Die Erzeugung von Reflexions- und Streufeldern durch die Rotorblätter und die Säulen-/Generatornabenkonstruktion der Windenergieanlagen wird für die verschiedenen räumlichen Anordnungen von Windenergieanlagen im Hochfrequenzfeld rechnergestützt untersucht.

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

- Feststellbare Radarverschattungen durch die WEAs
- gerichtete Reflexionen
- Streufelderscheinungen, insbesondere infolge von Wechselwirkungen zwischen benachbarten Windenergieanlagen
- Bewertung der Streufeldintensität für einzelne WEAs als auch für mehrere WEAs unter Berücksichtigung deren Wechselwirkung

Für ein Wetterradar sind 2 unterschiedliche Problembereiche durch WEA zu beachten:

a. Verschattungen (Strahlblockierungen) und ggf. Reflexionen durch die statischen Anteile einer WEA

Durch Windenergieanlagen liegen Verschattungswirkungen vor, die die Detektion von Wetterphänomenen in schmalen Richtungskorridoren einschränken können. Die Breite dieser gerichteten Verschattungssektoren jenseits einer WEA kann mit maximal ca. 10 m für den Richtungsbereich hinter einer WEA angegeben werden. Zusätzlich sind

seitlich jeweils Bereiche mit einer Azimutbreite von jeweils ca. 2° zusätzlich zu berücksichtigen, in denen durch Streufelder ein Einfluss auf die Datenqualität nicht ausgeschlossen ist, vgl. Anhang F.

b. Dopplerreflexionen durch die bewegten Anteile einer WEA, insbesondere durch die Rotorblätter

Durch die Bewegung der Rotoren wird ein bewegtes Ziel generiert, das die Wettererkundung im nahen Umgebungsbereich der WEA jeweils unterdrückt bzw. überdeckt. Die Reflexionsintensität der bewegten Anteile der Windenergieanlage wird durch das Wetterradar aufgrund der großen Empfindlichkeit nicht nur durch die Hauptempfangskeule, sondern auch über die Nebenkeulen empfangen. Daher werden die Reflexionsstörungen der Windenergieanlagen insbesondere bei Überlagerungen mehrerer WEA in gleicher Distanz bei jeder Antennenumdrehung über einen längeren Zeitabschnitt als 0,07 Sekunden empfangen, vgl. Anhang F.

Die Untersuchung der Dopplerstörungen erfolgt im Rahmen der RQS-Analyse zur Radarreflexionsintensität auf der Grundlage der 3-dimensionalen CAD-Nachbildung der vollständigen WEA, die eine oberflächentreue Nachbildung der Rotorblätter einschließt.

4.1. Einfluss auf Radarprodukte durch WEA

Die WEA-Einflüsse nach a. und b. wirken sich mittelbar auf Radarprodukte (Messgrößen) des DWD aus, die auf den Messergebnissen basieren und Aussagen, Prognosen und Warnungen zu meteorologischen Ereignissen ermöglichen sollen. Aufgrund der hohen Reflexionsintensität, welche durch eine WEA erzeugt wird, ist die Messung der Reflektivität (Z) von Hydrometeoren (kondensierte Wasserpartikel aller Art) betroffen, und es entstehen auf dem Radarbild unerwünschte Fehlechos. Diese Clutterziele, welche ausschließlich auf den Ort und direkten Umgebungsbereich einer WEA beschränkt sind, können mit den bisher bekannten Filtertechniken nicht vom Radarbild entfernt werden. [23], [28]

Auch betroffen ist die Messung des Radialwindes im Rahmen des Volumenscans zur Gewitterfrüherkennung (Mesozyklonerkennung) auf der Grundlage der Volumenmessungen in verschiedenen Höhen, bei der mittels des Dopplereffekts der Hydrometeore die Geschwindigkeit und Richtung von Niederschlag relativ zum Radarstandort bestimmt wird. Hierzu sind jedoch Volumenscans aus verschiedenen Höhen erforderlich. [23], [28]

Besonders empfindlich gegenüber Störung durch WEA sind die polarimetrischen Messgrößen eines Wetterradars. Bei der Messung von polarimetrischen Radarprodukten werden Signale sowohl bei horizontaler, als auch bei vertikaler Polarisierung gesendet und empfangen. Die Auswertung der Unterschiede der beiden empfangenen Signale erlaubt eine Klassifizierung des Niederschlagstyps, ob es sich beispielsweise um Regen, Hagel, Schnee, etc. handelt. Zu diesen Produkten zählen die „Differenzielle Reflektivität“ (ZDR), der „Korrelationskoeffizient“ (RHOHV) sowie die „Differenzielle Phase“ (PHIDP). [23], [28]

Ebenfalls können automatische Warnprodukte, wie Unwetterwarnungen etc., aufgrund der Störwirkungen von WEA fälschlicherweise ausgelöst werden. Beispielsweise ist das Warnprodukt KONRAD betroffen, welches in der Lage ist Gewitterzellen zu erkennen und zu verfolgen. Dieses Produkt basiert auf dem zweidimensionalen Messergebnis des Niederschlagsscans, bei dem eine bodennahe Abtastung bei ca. $0,8^\circ$ vorgenommen wird. Störeinflüsse durch WEAs auf dieses Produkt könnten möglicherweise minimiert oder sogar vermieden werden, indem KONRAD in den dreidimensionalen Volumenscan integriert wird, welcher eine Messung in höheren Elevationswinkelbereichen vornimmt. Somit würde das Warnprodukt auf Messdaten basieren, welche weit oberhalb von WEAs liegen würden. [23], [28]

Die Intensität der Fehlechos, die auf WEA zurückzuführen sind, wird stark bestimmt von der Fragestellung, ob der Radarstrahl den bewegten WEA-Rotor vollständig, teilweise oder nur geringfügig erfasst. Bei einer teilweisen oder geringfügigen Erfassung reduziert sich die Intensität des Fehlechos, u. a. die Messung der Reflektivitäten (Z) und des Radialwindes. In dem Fall wird die Bewertung der gewünschten Messgrößen verbessert.

Zurzeit liegen noch keine rückführbaren systematischen messtechnischen Erkenntnisse zu diesem Zusammenhang vor, so dass nur eine qualitative Aussage in Gutachten möglich ist. Eine erste Analyse ist in Kapitel 4.3.1.3. beschrieben und in Anhang C angegeben (Vergleich zwischen Reflektivität (meteorologische Messgröße) und Radarquerschnitt (Rückstreumaß eines Objektes) sowie Teilerfassung von WEA-Rotoren).

4.2. Referenzuntersuchung

Ausreichende messtechnische Untersuchungen, die systematisch den Zusammenhang zwischen den durch Reflexionen und Verschattungen von Windenergieanlagen generierten Störungen in Abhängigkeit von der Dimension und der Verdichtung von WEAs sowie in Bezug auf die zu detektierenden Wetterphänomene darlegen, sind bisher noch nicht verfügbar. Die durchgeführten Analysen orientieren sich daher an den Informationen des DWD gemäß bisher vorliegender veröffentlichter Stellungnahmen sowie einer ausführlichen Fachbesprechung mit dem DWD vom Herbst 2013 zum Radar Boostedt sowie einer technischen Darstellung zu durch den DWD festgestellten Störeinflüssen bei einzelnen Radarstandorten. Weiter wird auf die Dokumente von EUMETNET/Meteo France: OPERA III Work package 1.5 b, 2010 verwiesen.

4.3. Numerische Untersuchungsverfahren

Nachstehend ist das eingesetzte numerische Verfahren zur elektromagnetischen Ausbreitung beschrieben.

Beschreibung des Analyseverfahrens:

Die Ausbreitungsuntersuchungen auf der Grundlage der UTD/Uniform Theorie of Diffraction im Betriebsfrequenzbereich des Wetterradarsystems von ca. 5,6 GHz erfolgen unter Berücksichtigung von Streufeldern und Beugungserscheinungen, die ihre Ursachen in den vorhandenen Windenergieanlagen haben. Sich daraus ergebende Wechselwirkungen werden bei den Analysen ebenfalls berücksichtigt. Eine besondere Betrachtung gilt der gegenseitigen Beeinflussung der WEAs auf das Ausbreitungsfeld. Die Windenergieanlagen wurden dazu stets als 3D-CAD-Objekte nachgebildet.

Kontrollsimulationen werden zusätzlich mit exakten numerischen Simulationenmethoden, z. B. mit der Momentenmethode (MoM), im Nahbereich der WEAs durchgeführt.

Die Ausbreitungsanalysen zur normierten Feldstärkeverteilung werden in einem Gebiet vom Radar zum Windpark sowie für weitere Entfernungen für definierte Höhen unter Berücksichtigung von Streufelderscheinungen bis 2,5 km Distanz zur WEA in allen Richtungen durchgeführt. Dabei werden die Verschattungs- und Streufeldeinflüsse der WEA als nachgebildete 3-D-Objekte berücksichtigt.

Die Analysen zur normierten Feldstärkeverteilung werden für ein Raumgebiet und entlang eines Kreisbogens jenseits der WEA für verschiedene WEA-Distanzen zum Antennenstandort für die Antennenhöhen bei 0° Elevation durchgeführt. Dabei wird der Azimutwinkelbereich identifiziert, in dem Störeinflüsse durch Verschattungen und Streufelder die Datenqualität beeinflussen können.

RQS-Analysen auf der Grundlage von Detailnachbildungen der WEA, die eine Nachbildung der exakten Rotorblattform einschließen, werden zur Ermittlung des $RQS_{dyn.}$ sowie des Dopplerspektrums der WEA durchgeführt.

Die zugrunde liegenden Objektsignaturen wurden mittels numerischer Simulation erzeugt. Hierfür wird ein Radarsignal der Länge

$$l = n \cdot \Delta t \quad n > 0$$

betrachtet, welches aus n Impulsen besteht. Für jeden Impuls i wird die Geometrie der Windkraftanlage modelliert, wobei der Rotor den Winkel

$$\varphi = \varphi_0 + \omega \cdot i \cdot \Delta t \quad 0 \leq i < n$$

hat, wobei φ_0 der Anfangswinkel, ω die Winkelgeschwindigkeit der Rotation und Δt die Zeit zwischen zwei Impulsen ist. Da der Winkel, um den sich der Rotor innerhalb der Dauer des Radarsignals dreht, recht klein ist, wurden die Analysen für unterschiedliche Startwinkel φ_0 durchgeführt. Für die jeweilige Geometrie wurde für jeden Zeitpunkt

$$i \cdot \Delta t \quad 0 \leq i < n$$

eine monostatische RCS Berechnung mit der Methode der physikalischen Optik durchgeführt. Die Geometrie der Windkraftanlage wird hierzu in einen unbeweglichen und einen beweglichen Teil und separat in Oberflächendreiecke zerlegt. Die Dreiecksgröße ist dabei im Bereich der Wellenlänge gewählt worden. Die so erhaltenen Dreiecksnetze werden entsprechend der Winkelstellung zum Betrachtungszeitpunkt transformiert. Die physikalische Optik approximiert den durch das Radar induzierten Oberflächenstrom durch das lokal auftreffende H-Feld unter Berücksichtigung eventueller Abschattungen. Aus den so approximierten Oberflächenstromdichten wird das Fernfeld (und daraus der monostatische RCS) zum Betrachtungszeitpunkt berechnet. Durch n Berechnungen wird das Zeitsignal des RCS bestimmt, welches nach einer Fourier-Transformation im Frequenzbereich das Dopplerspektrum der betrachteten Anlage liefert. [4],[17],[24]

Diese Untersuchungen zum Radarreflexionsverhalten der Windenergieanlagen basieren auf der CAD-Nachbildung sowie der Auswertung der dynamischen monostatischen Radarreflexionen im Hinblick auf die Intensitäten und das Dopplerspektrum. Bei der Nachbildung der Windenergieanlagen wurde von Rotorblattstrukturen mit integriertem Blitzschutz ausgegangen. Bei der Berücksichtigung der Reflexionsintensitäten wurde eine

feuchte Oberfläche mit näherungsweise vollständiger Reflektivität angenommen, um ungünstige Wetterbedingungen zu berücksichtigen.

Bei trockenen Wetterverhältnissen werden sich um ca. 3 bis 5 dB geringere Reflexionsintensitäten einstellen.

Zusätzlich ist zu beachten, dass die quantitative Erfassung einer Windenergieanlage durch das Wetterradar von mehreren Parametern abhängig ist (Größe, Form, Material, Wellenlänge, Polarisation etc.). Für den Standort jeder untersuchten Windenergieanlage darf aufgrund der Distanz zwischen WEA und Radarstandort unter Berücksichtigung der Rotordimension von einer ebenen Welle ausgegangen werden.

Die unterschiedlichen Standorthöhen von WEA bei topografisch bedingten Höhenunterschieden der WEA-Rotoren gegenüber der Radarantenne werden zusätzlich sehr deutliche Unterschiede der Störintensitäten von WEA bewirken. Tatsächlich müssen die RCS/SER-Werte der Windenergieanlagen unter Berücksichtigung dieses Aspektes zusätzlich berücksichtigt werden.

4.3.1. Bewertung des radartechnischen Einflusses durch Einzelanlagen

Analysen zur Verschattungswirkung bzw. Strahlblockierung von WEA ermöglichen eine quantitative vergleichende Beurteilung bezüglich der Verschattungseffekte über größere Entfernungen jenseits der geplanten Windenergieanlagen.

Durch die Rotorblätter einer WEA, welche von der niedrigsten Antennensenderichtung erfasst wird, ist gemäß aktueller vom DWD vorgelegter Messergebnisse bei anderen Projekten sowie in Übereinstimmung mit Ausbreitungsuntersuchungen kein zusätzlicher praxisrelevanter Verschattungseffekt gegeben, vgl. Anhang F. Bestimmend sind dabei nur die statischen Anteile der WEA bis zur Gondelhöhe.

Durch die bei den untersuchten Bestandwindparks sowie Beispielwindparkplanungen gegebenen Distanzen der Windenergieanlagenstandorte (vgl. Beispiele der Grundsatzuntersuchung in Kapitel 5) liegen Verschattungswirkungen vor, welche die Detektion von Wetterphänomenen nur in schmalen Richtungskorridoren einschränken können. Die

Breite dieser gerichteten Verschattungssektoren jenseits einer WEA kann mit maximal ca. 10 m für den Richtungsbereich hinter einer WEA angegeben werden. Zusätzlich sind seitlich jeweils Bereiche mit einer Azimutbreite von ca. 2° zu berücksichtigen, in denen eine Beeinflussung der Daten durch Streufelder nicht ausgeschlossen ist.

Es wird in diesem Zusammenhang auf die Volumenmessung des Wetterraders hingewiesen:

Da bei der Messung durch das Wetterrader nicht ein einzelnes diskretes Ziel an einem Raumpunkt gemessen wird, sondern eine Volumenmessung als „Mittelwertmessung“ durchgeführt wird, ist jenseits einer WEA nur ein Teil des gemessenen Volumens betroffen, da z. B. eine WEA nur einen kleinen Teil des Volumens ausfüllen kann. Dieser Anteil reduziert sich bei zunehmender Distanz zwischen dem Radarstandort und der WEA.

Durch eine einzelne WEA ist daher eine Dämpfung (Verschattung) bzw. eine Änderung des Messwertes jenseits des WEA Standortes von weniger als 1 dB Änderung zu erwarten, und eine Warnung kann deshalb im Einzelfall unterbleiben. Dabei sind jedoch die Unterschiede von 1 dBz kein Maßstab, der zwischen einem warnwürdigen Ereignis und einem nicht warnwürdigen Ereignis unterscheidet.

Die Analyseergebnisse zeigen als Grundsatzbetrachtung auf der Grundlage von Ausbreitungsrechnungen im typischen Betriebsfrequenzbereich eines Wetterradersystems von ca. 5,6 GHz die durch eine Windenergieanlage verursachten Streufeldebeflüsse.

Die im Raum vorliegenden Ergebnisse zur normierten Feldstärkeverteilung sind beispielhaft angegeben in einem

- Flächegebiet bis 10 km Distanz zwischen WEA und Radarstandort sowie auf einer
- Linie, die die Feldverteilung stets 5 km hinter der WEA angibt.

4.3.1.1. Ergebnisse zur elektromagnetischen Feldverteilung in der Fläche um eine einzelne WEA herum

Die Flächenanalyse wurde grundsätzlich in einer Höhe von 20 m zzgl. des Antennenfußpunktes durchgeführt. Die Antennenposition ist hier mit einer Höhe von ebenfalls 20 m angenommen. Topografie ist nicht berücksichtigt.

Beschreibung der untersuchten WEA-Teilanordnungen:

WEA in 2 und 10 km Distanz zum Radar.

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

Grundlage der vorliegenden Analysen ist eine angenommene Antennencharakteristik mit einer bzgl. der Elevation zwischen 0° und ca. 30° isotropen und bzgl. der Intensität gleichförmigen Abstrahlung.

Die Ergebnisse zeigen die Verteilung der Feldintensitäten des Ausbreitungsfeldes unter Berücksichtigung von Beugungs- und Streuprozessen bei 5,6 GHz.

Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen jeweils als Übersicht die Intensitätsverteilung des elektromagnetischen Feldes an. Die Auswirkungen einer WEA sind in einem sehr schmalen Raumwinkel zu erkennen. Diese unterscheiden sich bei unterschiedlichen Distanzen der WEA von 2 km über 10 km zum Sender nicht. Der betroffene Raumkorridor jenseits der WEA wird schmaler, umso weiter sie vom Sender entfernt ist.

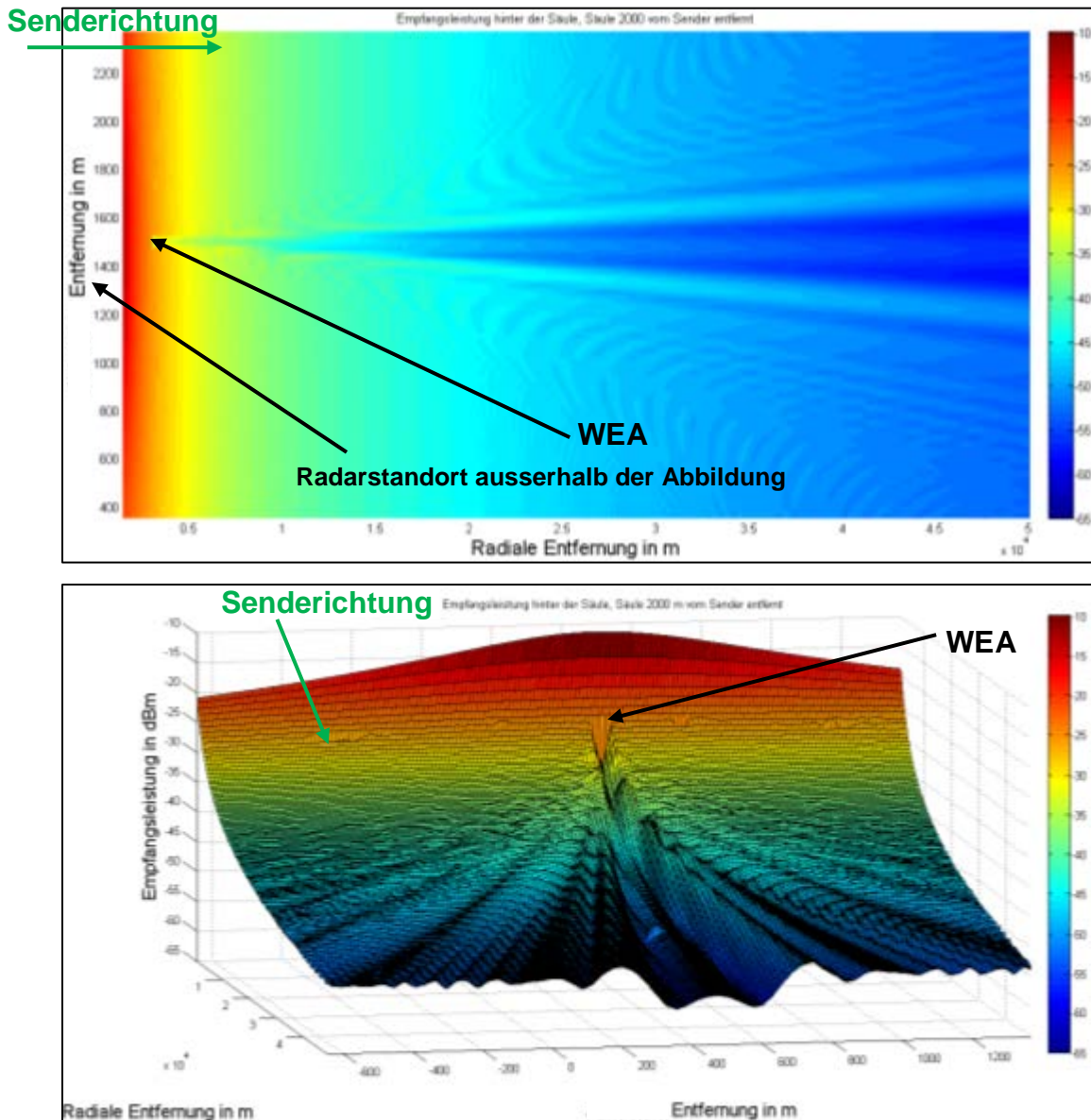


Abbildung 2: Analyse des elektromagnetischen Ausbreitungsfeldes unter Berücksichtigung von Beugungs- und Streufeldern. Angegeben ist die normierte Empfangsleistung in dBm für einen fiktiven Empfänger an jedem Ort des Analysegebietes zur Darstellung der Feldverteilung. (oben: zweidimensionale Ansicht, nicht winkeltreu; unten: dreidimensionale Ansicht)
Analysehöhe: 20 m über Grund.
Gebietsausdehnung in Ausbreitungsrichtung 50 km.
Antennenposition: außerhalb der Darstellung in x-Richtung
angenommene WEA-Position: 2 km zum Radarstandort

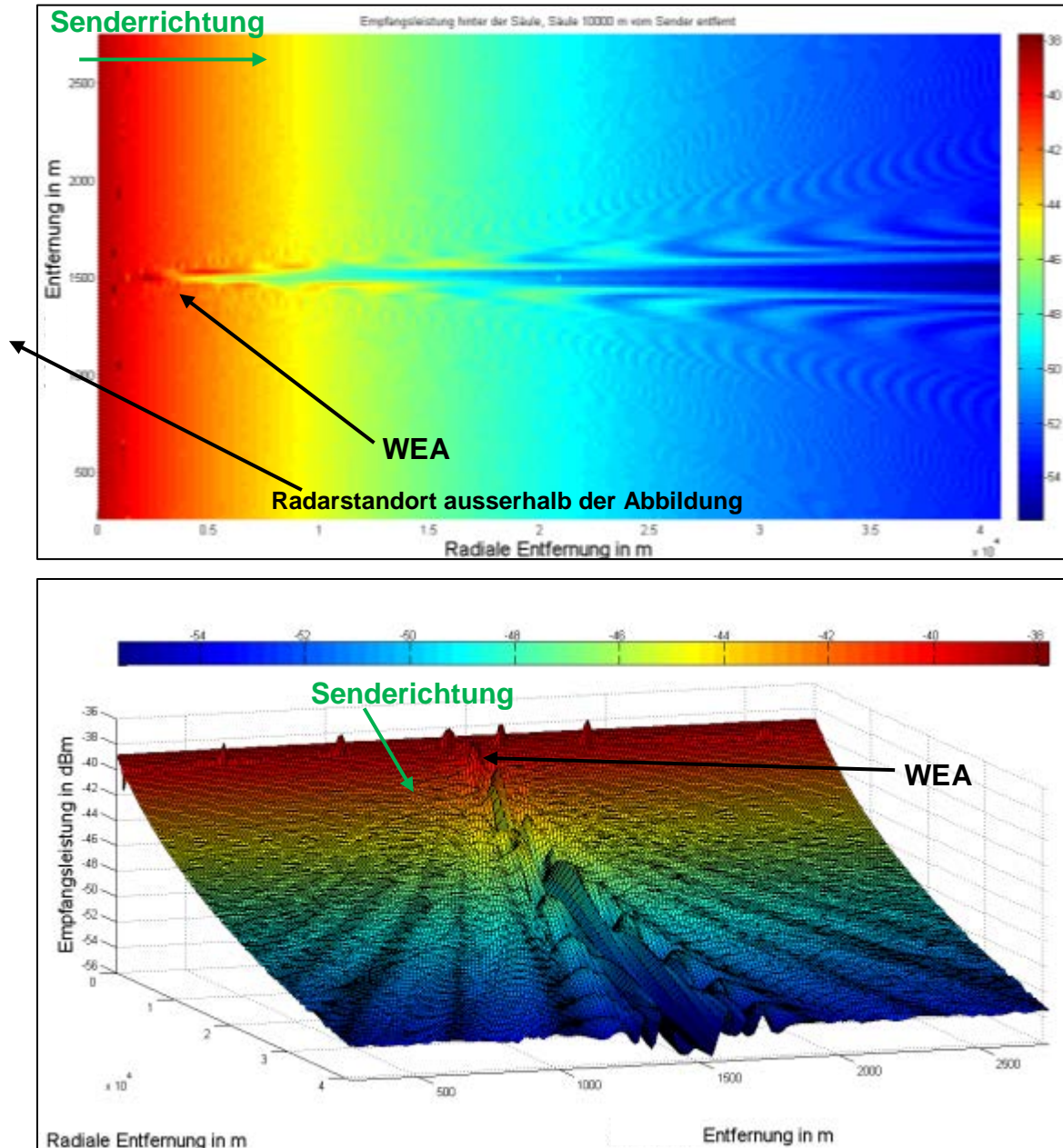


Abbildung 3: Analyse des elektromagnetischen Ausbreitungsfeldes unter Berücksichtigung von Beugungs- und Streufeldern. Angegeben ist die normierte Empfangsleistung in dBm für einen fiktiven Empfänger an jedem Ort des Analysegebietes zur Darstellung der Feldverteilung. (oben: zweidimensionale Ansicht, nicht winkeltreu; unten: dreidimensionale Ansicht)
Analysehöhe: 20 m über Grund.
Gebietsausdehnung in Ausbreitungsrichtung ca. 45 km.
Antennenposition: außerhalb der Darstellung in x-Richtung
angenommene WEA-Position: 10 km zum Radarstandort

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

In den vorstehenden Abbildungen ist die Analyse der elektromagnetischen Feldausbreitung in der Fläche für eine einzelne Windkraftanlage dargestellt. Analysiert wurde die Windkraftanlage für zwei unterschiedliche Distanzen. Die WEA ist in der Entfernung von 2 km und 10 km zur Radaranlage angenommen. Die Simulation wurde ohne Topografie durchgeführt, bzw. es wurde keine Bodenreflexion zugelassen, damit ausschließlich der Einfluss der WEA dargestellt wird.

Die Analysen zeigen, dass die Windkraftanlage nur eine sehr schmale Verschattungszone in x-Richtung der Darstellung generiert, dessen Azimutbreite mit zunehmender Distanz zwischen Radarstandort und der WEA kleiner wird.

4.3.1.2. Elektromagnetisches Ausbreitungsfeld hinter der WEA

Kreisbogenanalyse:

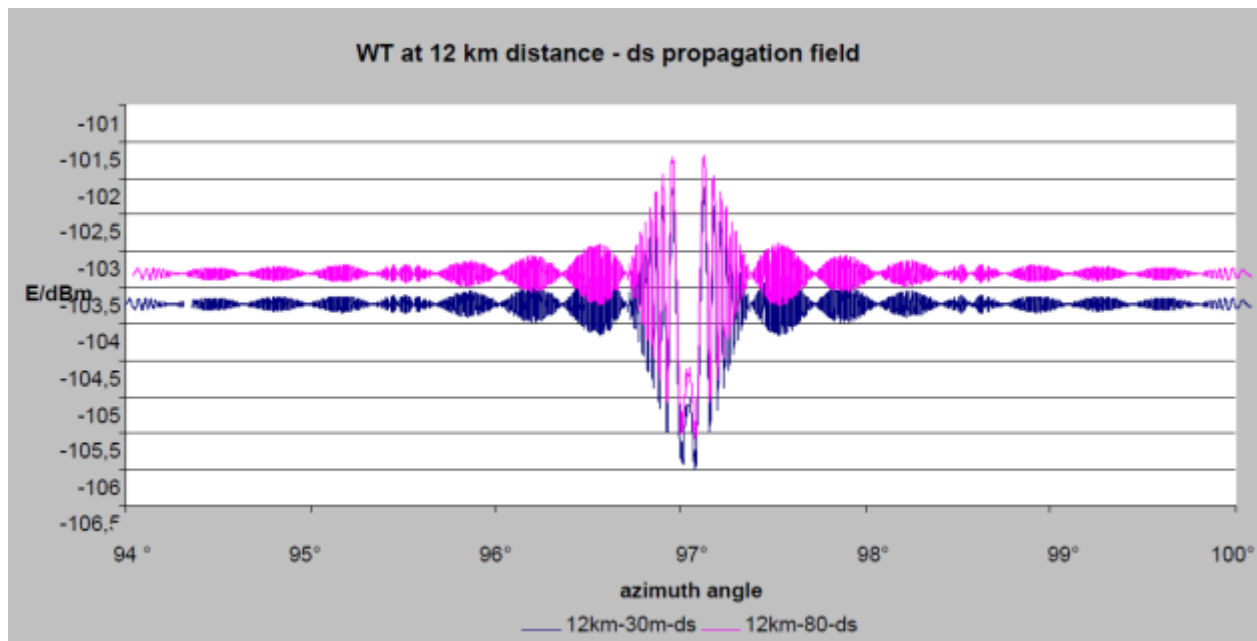


Abbildung 4: Analyse der elektromagnetischen Feldverteilung entlang einer Linie 5 km hinter der WEA unter Berücksichtigung von Beugungs- und Streufeldern.

Analysehöhe : 30 m und 80 m über Grund.

Antennenposition : Koordinatenursprung

Angenommene WEA-Position: 12 km zum Radarstandort

Die Abbildung 4 zeigt den Verlauf der elektromagnetischen Feldstärke entlang eines Kreisbogens 5 km hinter der Windkraftanlage aus der Sicht des Radars für zwei unterschiedliche Analysehöhen relativ zum Fußpunkt der WEA in der gemessenen Gesamtdistanz von 17 km zum Radar.

Mittig in den Darstellungen sind die von der Windkraftanlage generierten Verschattungseinflüsse sowie die Streu- und Beugungserscheinungen erkennbar.

Betroffen durch Streufeldeinflüsse ist jenseits der WEA ein Raumwinkel in den Höhen der WEA mit einer maximalen Breite von ca. $0,5^\circ$, wenn als Kriterium eine Feldstärkeänderung durch Streufelder von ca. 0,5 dBm zugrunde gelegt wird.

Simulationsaufbau zu Abbildung 4:

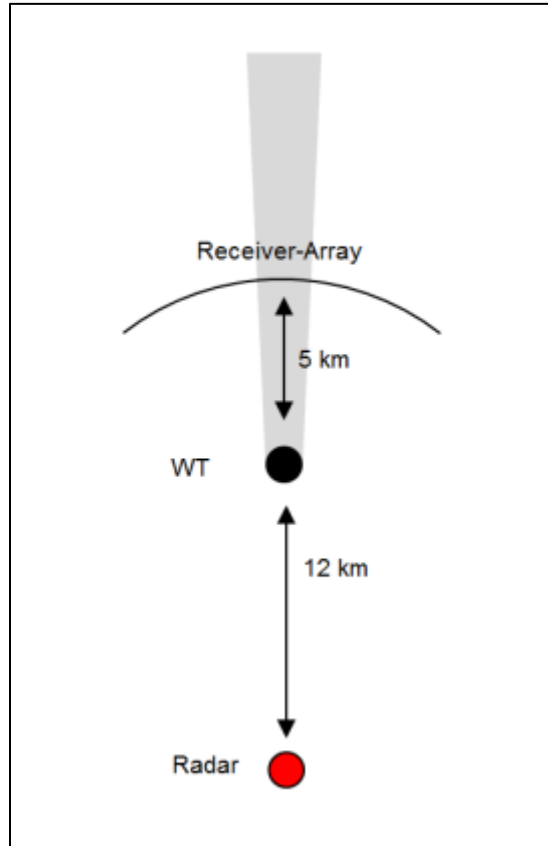


Abbildung 5: Skizze vom Simulationsaufbau in der Draufsicht – Kreisbogenanalyse

Volumenmessung:

Im Folgenden wurde das elektromagnetische Ausbreitungsfeld hinter der WEA ermittelt. Es zeigt die Abweichung vom ungestörten Fall ohne WEA in dB. Hier wurde ein Ausschnitt von $1^\circ \times 1^\circ$ gewählt, der der Beambreite/-höhe des Radarstrahls entspricht. Im folgenden Simulationsergebnis befindet sich die WEA 8 km vom Radar entfernt und zeigt das vertikale Ausbreitungsfeld 2 km hinter der WEA.

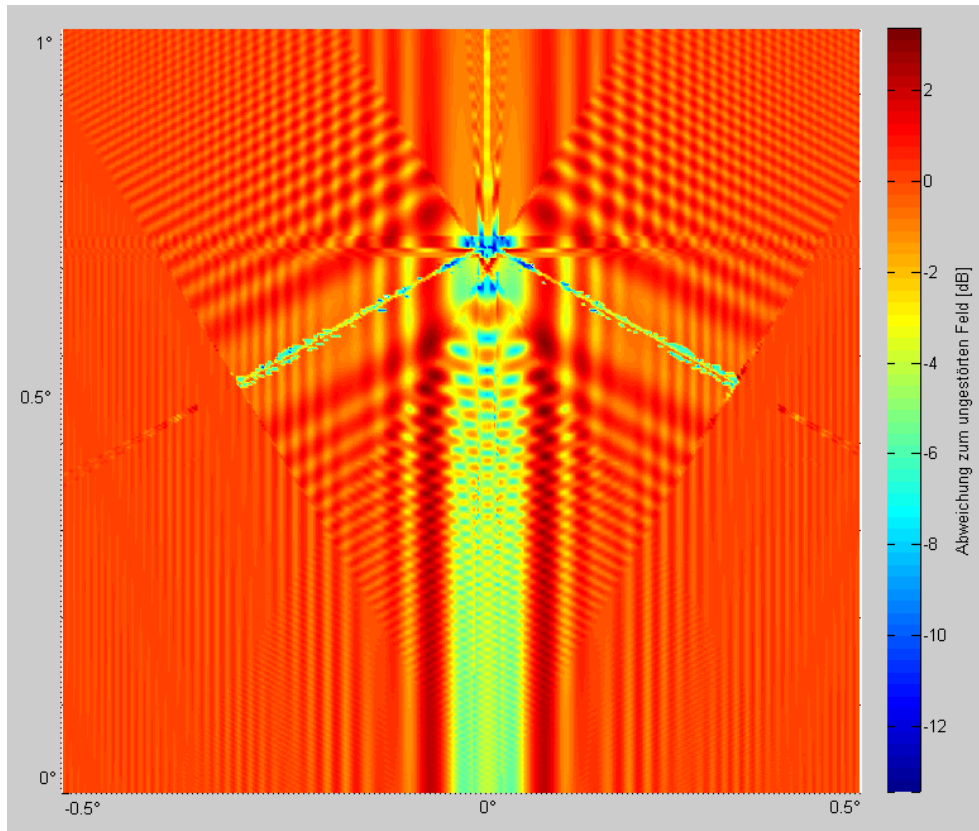


Abbildung 6: WEA 8 km vom Radar entfernt, Simulation 2 km hinter der WEA

Im Mittelwert ergibt sich unter der Annahme der Volumenmessung mit einem Öffnungswinkel von 1° (horizontal und vertikal) eine Verschattung bzw. zusätzliche Dämpfung von ca. 0,33 dB. Die Höhe/Breite von 1° entspricht einem Ausschnitt des Messvolumens beim Wetterradar, und die Verschattung der WEA von 0,33 dB entspricht somit in etwa dem Mittelwert im gesamten Volumen. Dieses Simulationsergebnis zeigt nur die Verschattung hinter der WEA, also ausschließlich die Verschattung des gesendeten Signals im Ausbreitungsweg. Die Verschattung des von Niederschlag und anderen Zielen reflektierten Signals fehlt an dieser Stelle. Das reflektierte Signal würde durch die WEA in etwa gleichem Maße im Reflexionsweg gedämpft (verschattet) werden.

Somit kann eine effektive Gesamtverschattung des Volumens von 0,66 dB angegeben werden.

Im folgenden Simulationsergebnis befindet sich die WEA 8 km vom Radar entfernt und zeigt das vertikale Ausbreitungsfeld 7 km hinter der WEA.

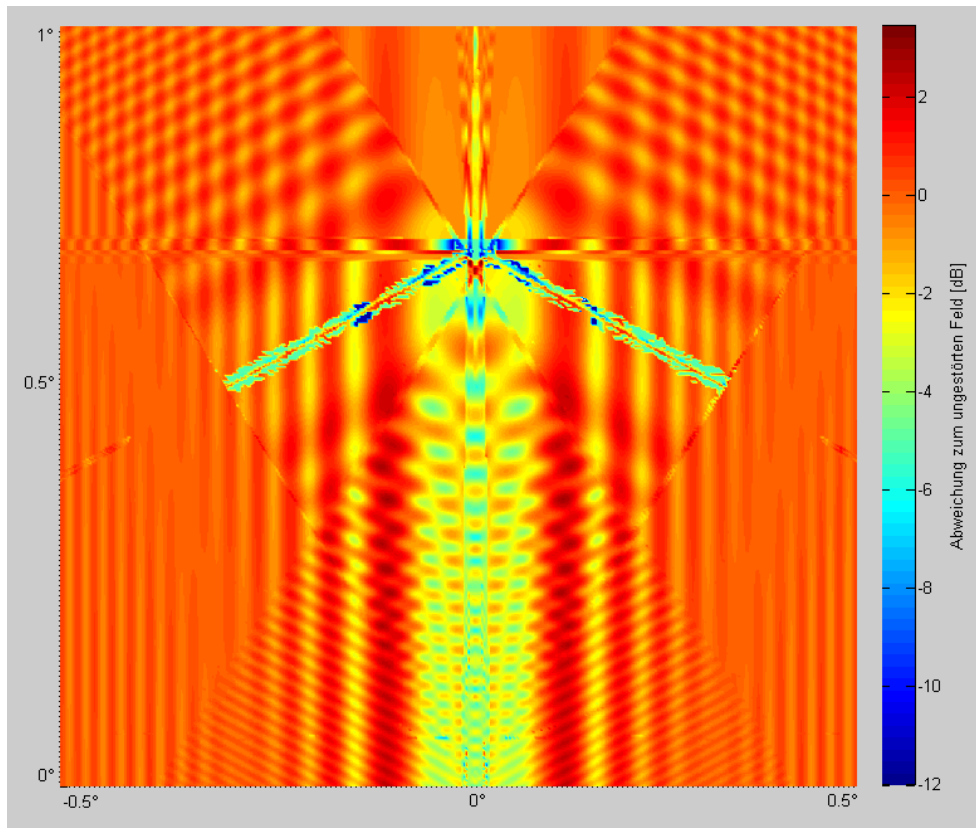


Abbildung 7: WEA 8 km vom Radar entfernt, Simulation 7 km hinter der WEA

Im Mittelwert ergibt sich unter der Annahme der Volumenmessung mit einem Öffnungswinkel von 1° (horizontal und vertikal) eine Verschattung bzw. zusätzliche Dämpfung von ca. 0,36 dB. Die Höhe/Breite von 1° entspricht einem Ausschnitt des Messvolumens beim Wetterradar, und die Verschattung der WEA von 0,36 dB entspricht somit in etwa dem Mittelwert im gesamten Volumen. Auch hier ist in Abbildung 7 ausschließlich die Verschattung des gesendeten Signals betrachtet worden.

Somit kann eine effektive Gesamtverschattung des Volumens von 0,72 dB angegeben werden.

Simulationsaufbau zu Abbildung 6:

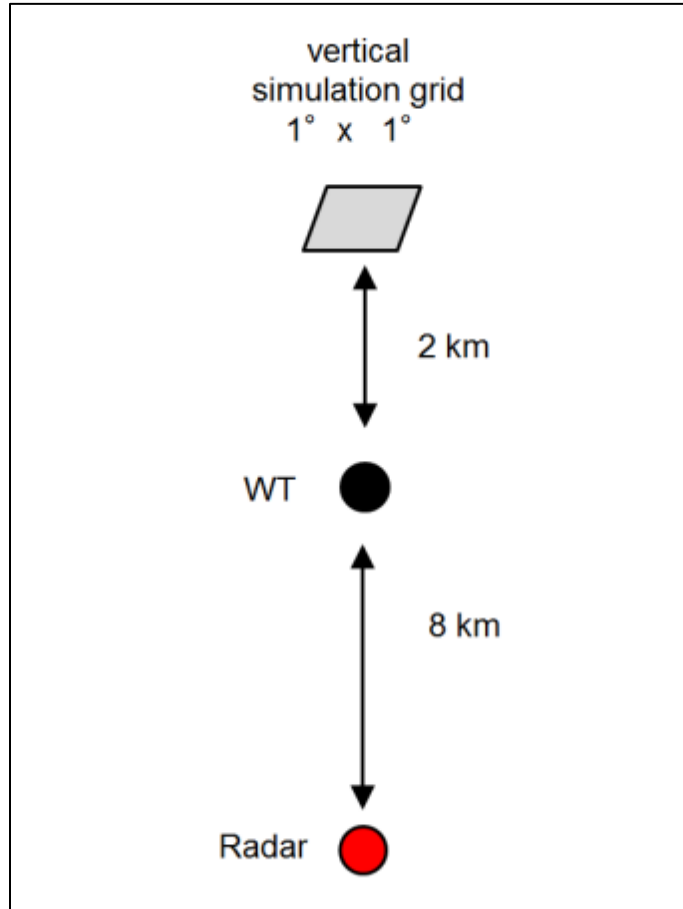


Abbildung 8: Skizze vom Simulationsaufbau in der Draufsicht

Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt den Feldstärkeverlauf entlang einer Linie, ausgehend vom Radar in Richtung der Windenergieanlage und darüber hinaus. Die WEA befindet sich in einer Entfernung von 8 km zum Radar, und der Simulationspfad verläuft bis zu einer Entfernung von 30 km (vgl. Abbildung 10). Es werden das ungestörte Feld ohne WEA (blau) und der durch die WEA gestörte Feldstärkenverlauf (rot) verglichen.

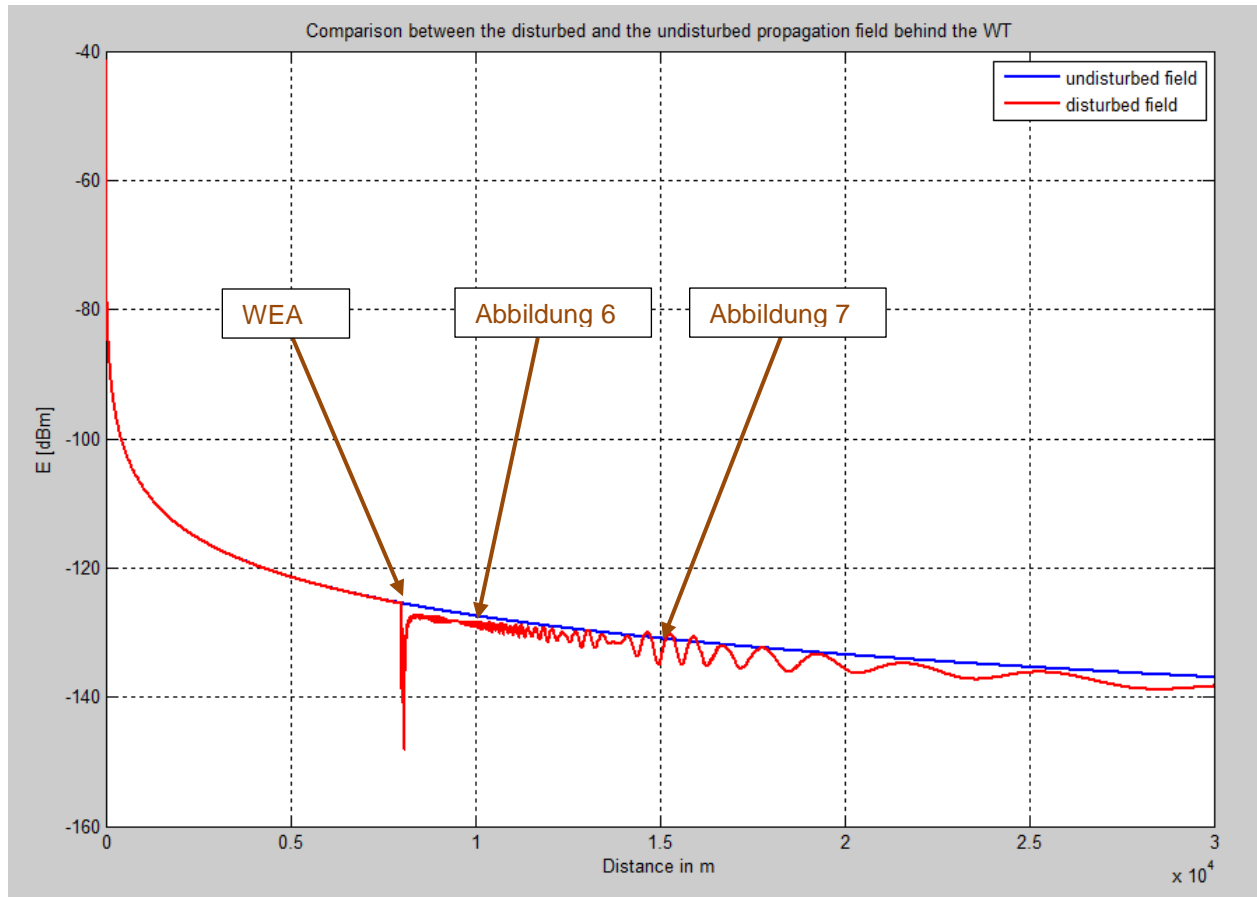


Abbildung 9: WEA 8 km vom Radar entfernt, Simulation bis 30 km; Vergleich zwischen ungestörtem Feld (blau) und dem durch die WEA gestörten Feld (rot)

Direkt hinter einer WEA ist die Feldstärkenminderung (Verschattung) am größten, und über eine längere Distanz gleicht sich das Ausbreitungsfeld für den durch die WEA gestörten Fall dem ungestörten wieder an.

Simulationsaufbau zu Abbildung 9:

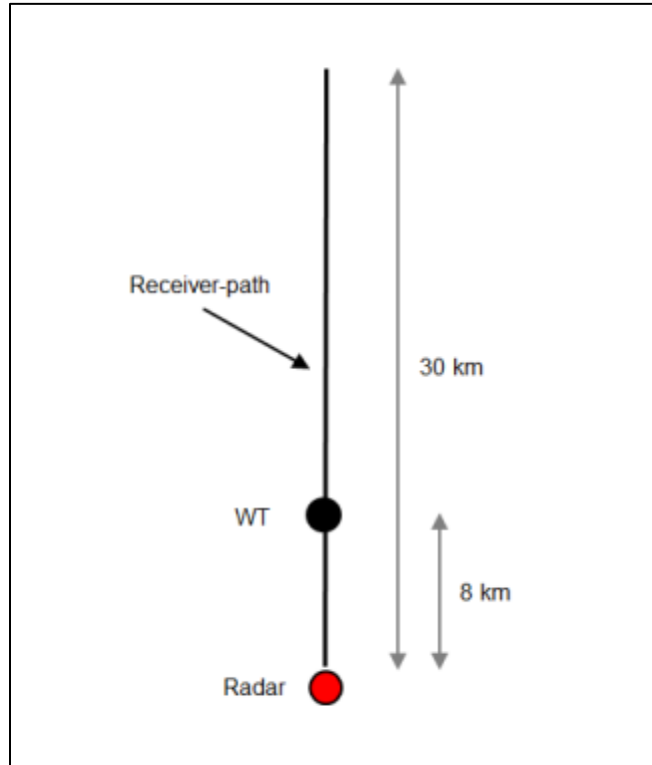


Abbildung 10: Skizze vom Simulationsaufbau in der Draufsicht

Die Bedeutung dieser Verschattungswirkungen, die sich als geringfügige Minderung der Feldstärke in einem schmalen Sektor hinter der WEA einstellt, ist in Kapitel 4.3.1 erörtert, vgl. auch Anhang F.

4.3.1.3. WEA-Radarquerschnittsuntersuchungen

Die Radarquerschnittsberechnung der WEA ist erforderlich zur Bestimmung der Ausdehnung der „Worst-Case“ Umgebungszone um eine WEA, in der die Messung von Wetterphänomenen beeinträchtigt wird. Dieser dynamische Radarquerschnitt einer WEA 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 Polarisation 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 die Intensität der Reflexion einer effektiven isotrop reflektierenden (Referenz-) Fläche an, die die einlaufende elektromagnetische Welle in den Raum abstrahlt. [24]

Der Radarquerschnitt σ 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. [24]

Für eine WEA erfolgt die Berechnung des RQS auf der Grundlage einer computergestützten 3D-CAD Nachbildung gemäß beigestellter Konstruktionsunterlagen des WEA-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.

Vergleich des Radarquerschnittes mit der meteorologischen Messgröße Reflektivität:

Der Radarquerschnitt (radar cross section) ist eine objektspezifische Größe. Sie gibt an, wie groß die Reflexion eines Objektes (ein einzelner Streukörper) in Richtung Radar ist. Die Reflektivität (reflectivity) dagegen ist nicht als ein Rückstreumaß eines einzelnen Ziels definiert, sondern ist gültig für die mittlere Reflektivität eines Volumens, in dem sich eine Vielzahl einzelner Streukörper befinden können. [22],[24]

Beide Größen sind ein Maß für die Rückstreuintensität von Radarzielen, können jedoch mathematisch nicht direkt umgerechnet werden. Bisher fehlt es ebenfalls an messtechnischen Grundlagen, um einen direkten Vergleich zwischen Radarquerschnitt und Reflektivität zeigen zu können. In Anhang C ist ein Vergleich zwischen den Messgrößen auf Grundlage von Messergebnissen eines Wetterradars sowie von Simulationsergebnissen des Radarquerschnitts beschrieben. [22],[24]

Die Ermittlung des RQS berücksichtigt die nachstehenden technischen Aspekte:

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

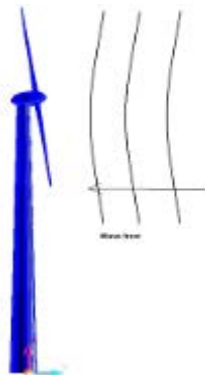


Abbildung 11: Schemabild zur Wellenfront

Die Radarquerschnittsanalyse wurde hier beispielhaft für zwei WEA-Typen unterschiedlicher Größe und Hersteller durchgeführt.

4.3.1.4. Beispielhafte Ergebnisse für eine Enercon E-66

Die nachstehenden Abbildungen geben die nachgebildete CAD-Objektstruktur der Enercon E-66 aus zwei verschiedenen Perspektiven an.



Abbildung 12: Komplettansicht der Enercon E-66



Abbildung 13: Detailansicht der Enercon E-66

Bei der Simulation wird die Oberfläche der Objektstruktur durch eine ausreichend große Anzahl ebener Dreieckflächenelemente nachgebildet – „trianguliert“. Es liegt eine hoch feine Abtastung vor, die für die Dopplerberechnungen benötigt wird. Zur Angabe von RQS-Werten die messtechnisch zugänglich sind, wird zur Bewertung der RQS-Medianwert über ein Winkelintervall von 2° festgelegt, vgl. die nachstehenden Abbildun-

gen zum RQS_{dyn} . Diese Werte aus diesem Bereich sind durch die blaue Linie gekennzeichnet und werden nachfolgend zur Beurteilung herangezogen.

Dynamische Radarquerschnittswerte für einen E-66-Rotor bei vollständiger Erfassung und einer vollständigen Rotordrehung um die Nabe von 0° bis 360° .

Orientierung der Nabe zur Radaranlage $\varphi=0^\circ$.

Die Achse der Säule wird von der Radarantenne unter einem Winkel von $\Theta=90^\circ$ erfasst, d. h. die Höhe der Nabe ist vergleichbar der Antennenhöhe.

Zusätzlich ist ein Medianwert von 2° angegeben.

Frequenz: 5,6 GHz

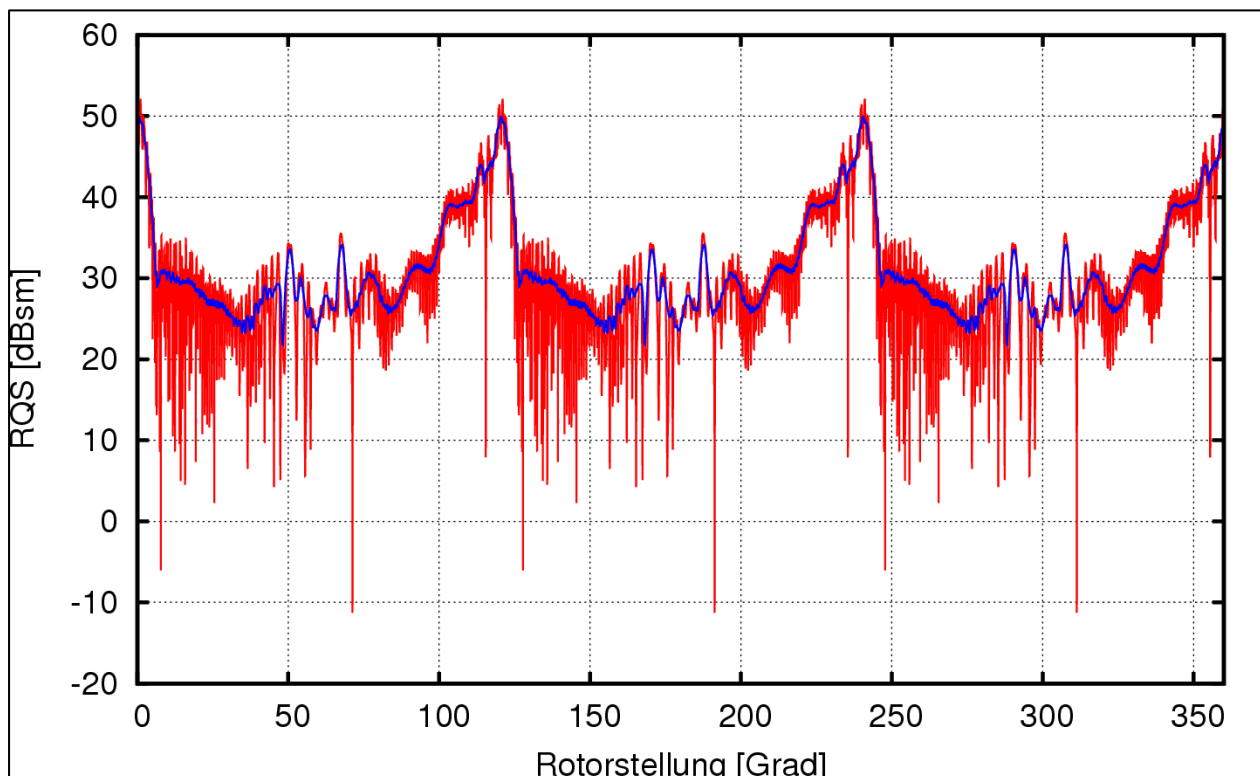


Abbildung 14: Dynamischer RQS in Abhängigkeit von der Rotordrehung. Darstellung für eine vollständige Rotorumdrehung bei **vollständiger** Erfassung des Rotors.

Der Radarquerschnitt dieser WEA für diese Rotororientierung variiert somit zwischen ca. 300 qm und kurzzeitig ca. 9000 qm.

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

Dopplerspektrum der dynamischen Radarreflexion für eine Rotordrehzahl vom 22,0 rpm -/ Umdrehung pro Minute.

Die Rotorstellung 0° bedeutet eine Orientierung des Rotors, bei der eine Rotorblattvorderkante senkrecht zum Radar orientiert ist.

Die Rotorstellung 30° bedeutet eine Orientierung des Rotors, bei der keine Rotorblattvorderkante senkrecht zum Radar orientiert ist.

Die Rotorstellung 60° bedeutet eine Orientierung des Rotors, bei der eine Rotorblatthinterkante senkrecht zum Radar orientiert ist.

Orientierung der Nabe zur Radaranlage $\varphi = 0^\circ$.

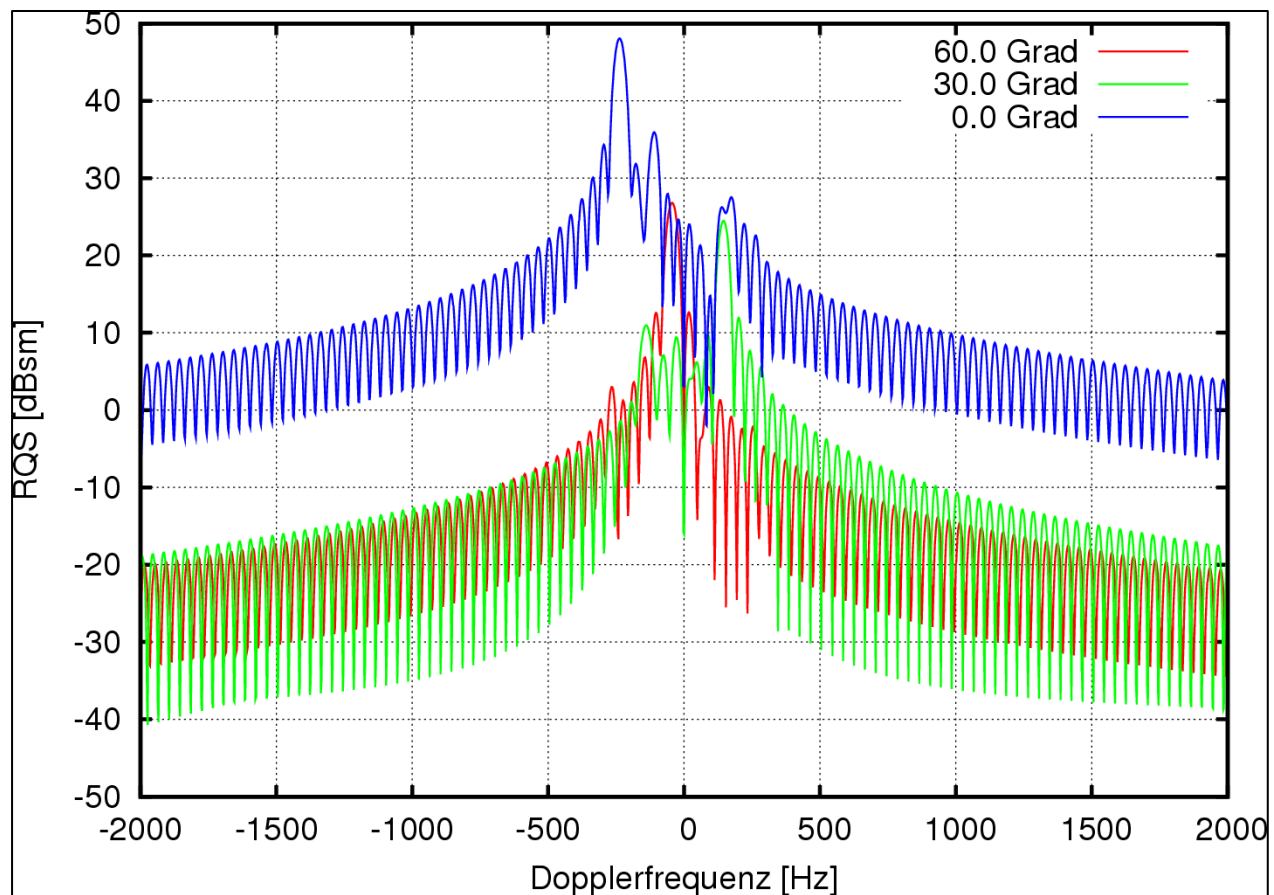


Abbildung 15: Dopplerspektrum in Abhängigkeit von der Rotorstellung bei **vollständiger** Erfassung des Rotors.

Dynamische Radarquerschnittswerte für einen E-66-Rotor bei vollständiger Erfassung und einer vollständigen Rotordrehung um die Nabe von 0° bis 360° .

Orientierung der Nabe zur Radaranlage $\varphi=90^\circ$.

Die Achse der Säule wird von der Radarantenne unter einem Winkel von $\Theta=90^\circ$ erfasst, d. h. die Höhe der Nabe ist vergleichbar der Antennenhöhe.

Zusätzlich ist ein Medianwert von 2° angegeben.

Frequenz: 5,6 GHz

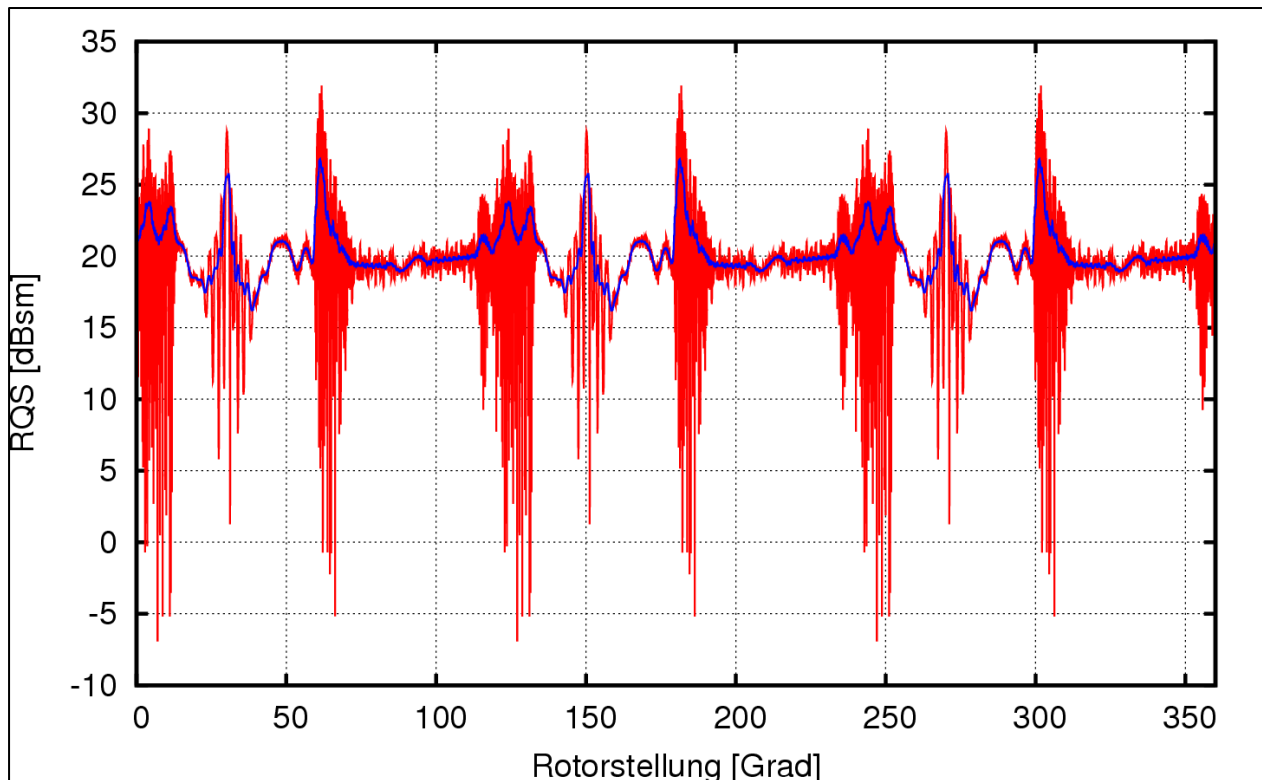


Abbildung 16: Dynamischer RQS in Abhängigkeit von der Rotordrehung. Darstellung für eine vollständige Rotordrehung bei **vollständiger** Erfassung des Rotors.

Der Radarquerschnitt dieser WEA für diese Rotororientierung variiert somit zwischen ca. 80 qm und kurzzeitig ca. 400 qm.

Dopplerspektrum der dynamischen Radarreflexion für eine Rotordrehzahl vom 22,0 rpm -/ Umdrehung pro Minute.

Die Rotorstellung 0° bedeutet eine Orientierung des Rotors, bei der eine Rotorblattvorderkante senkrecht zum Radar orientiert ist.

Die Rotorstellung 30° bedeutet eine Orientierung des Rotors, bei der keine Rotorblattvorderkante senkrecht zum Radar orientiert ist.

Die Rotorstellung 60° bedeutet eine Orientierung des Rotors, bei der eine Rotorblatthinterkante senkrecht zum Radar orientiert ist.

Orientierung der Nabe zur Radaranlage $\varphi=90^\circ$.

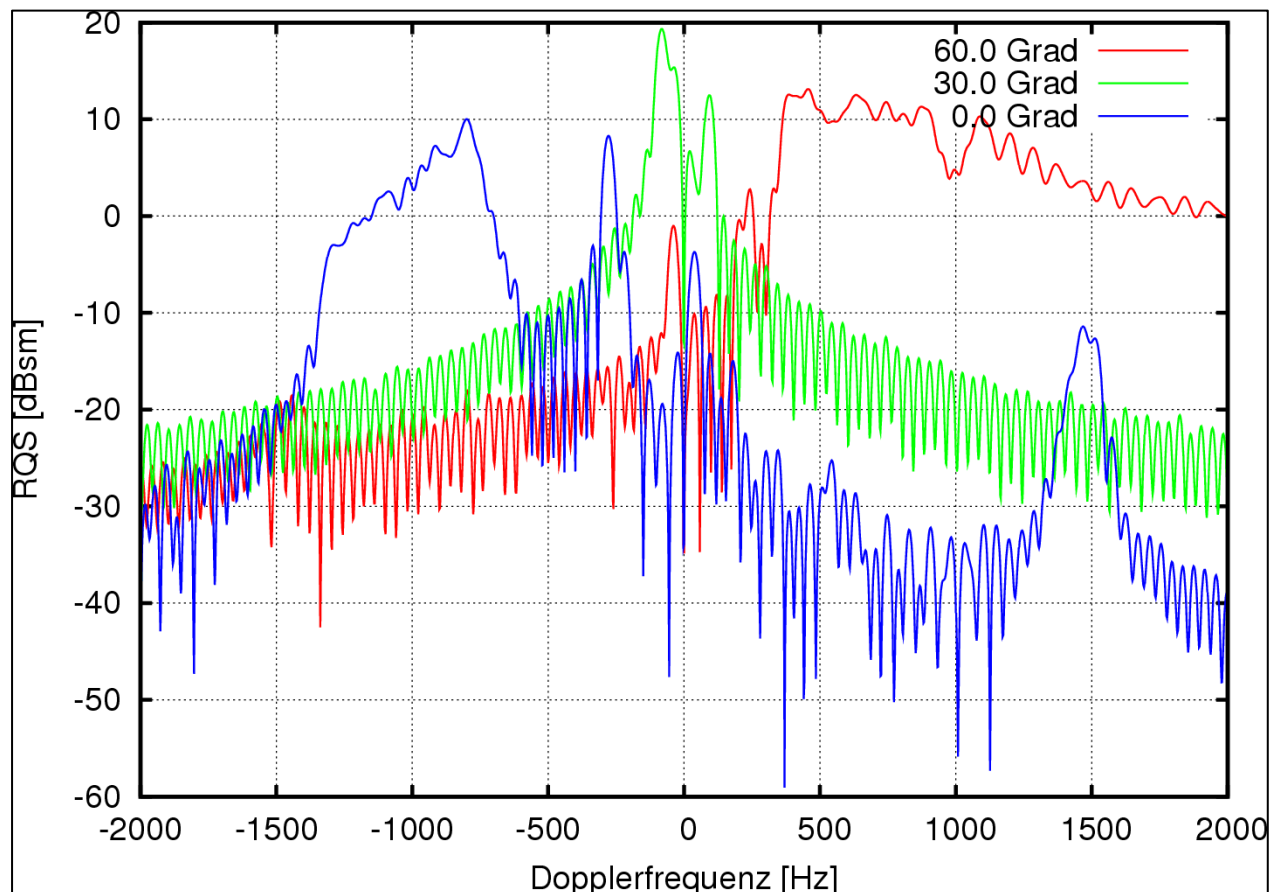


Abbildung 17: Dopplerspektrum in Abhängigkeit von der Rotorstellung bei **vollständiger** Erfassung des Rotors.

4.3.1.5. Beispielhafte Ergebnisse für eine Nordex N100

Die nachstehenden Abbildungen geben die nachgebildete CAD-Objektstruktur der Nordex N100 aus zwei verschiedenen Perspektiven an.



Abbildung 18: Komplettansicht der N100



Abbildung 19: Detailansicht der N100

Bei der Simulation wird die Oberfläche der Objektstruktur durch eine ausreichend große Anzahl ebener Dreieckflächenelemente nachgebildet – „trianguliert“. Es liegt eine hoch feine Abtastung vor, die für die Dopplerberechnungen benötigt wird. Zur Angabe von RQS-Werten die messtechnisch zugänglich sind, wird zur Bewertung der RQS-Medianwert über ein Winkelintervall von 2° festgelegt, vgl. die nachstehenden Abbildungen zum RQS_{dyn} . Diese Werte aus diesem Bereich sind durch die blaue Linie gekennzeichnet und werden nachfolgend zur Beurteilung herangezogen.

Dynamische Radarquerschnittswerte für einen N100-Rotor bei vollständiger Erfassung und einer vollständigen Rotordrehung um die Nabe von 0° bis 360°.

Orientierung der Nabe zur Radaranlage $\varphi=0^\circ$.

Die Achse der Säule wird von der Radarantenne unter einem Winkel von $\Theta=90^\circ$ erfasst, d. h. die Höhe der Nabe ist vergleichbar der Antennenhöhe.

Zusätzlich ist ein Medianwert von 2° angegeben.

Frequenz: 5,6 GHz

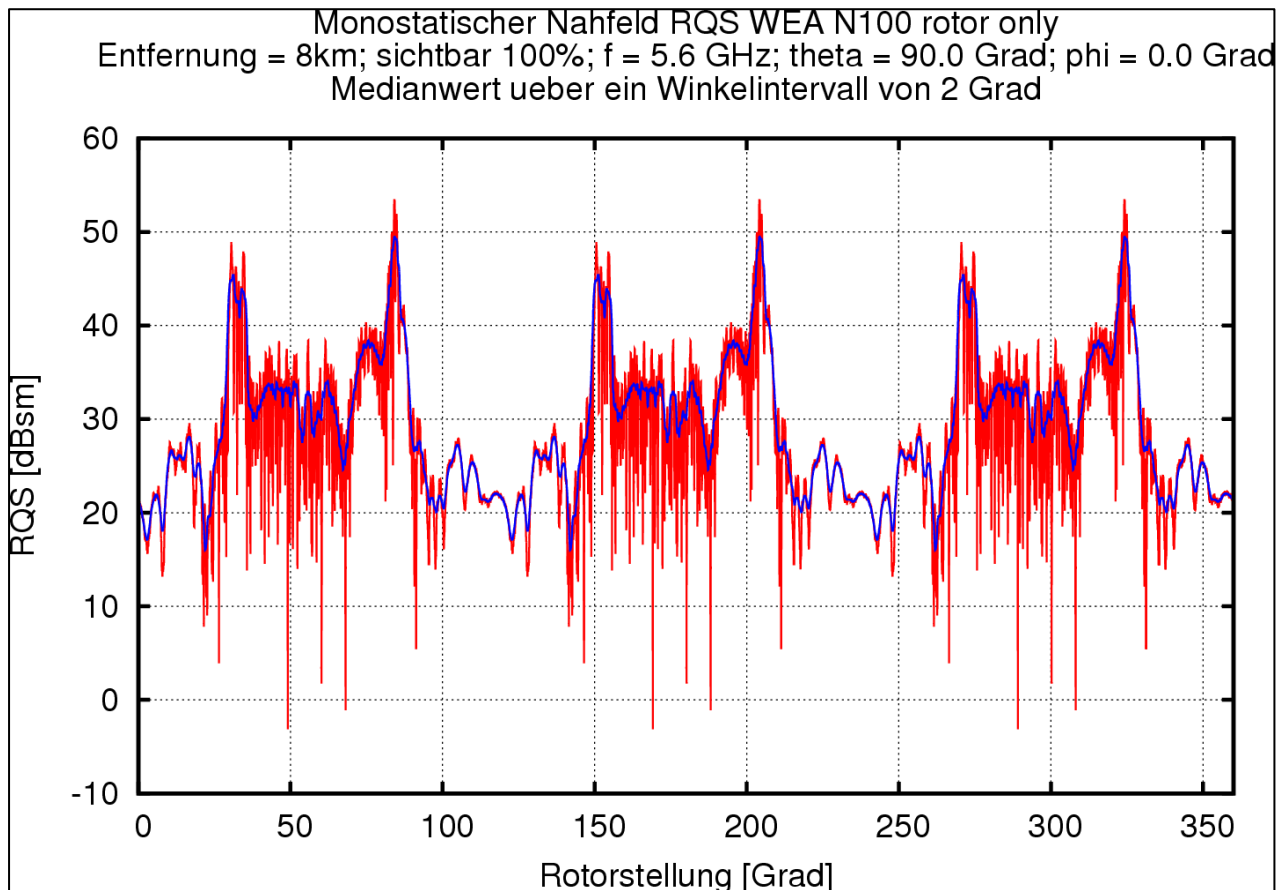


Abbildung 20: Dynamischer RQS in Abhängigkeit von der Rotordrehung. Darstellung für eine vollständige Rotordrehung bei **vollständiger** Erfassung des Rotors.

Der Radarquerschnitt dieser WEA für diese Rotororientierung variiert somit zwischen ca. 80 qm und kurzzeitig ca. 40000 qm.

Dopplerspektrum der dynamischen Radarreflexion für eine Rotordrehzahl vom 15,0 rpm -/ Umdrehung pro Minute.

Die Rotorstellung 0° bedeutet eine Orientierung des Rotors, bei der eine Rotorblattvorderkante senkrecht zum Radar orientiert ist.

Die Rotorstellung 30° bedeutet eine Orientierung des Rotors, bei der keine Rotorblattvorderkante senkrecht zum Radar orientiert ist.

Die Rotorstellung 60° bedeutet eine Orientierung des Rotors, bei der eine Rotorblatthinterkante senkrecht zum Radar orientiert ist.

Orientierung der Nabe zur Radaranlage $\varphi=0^\circ$.

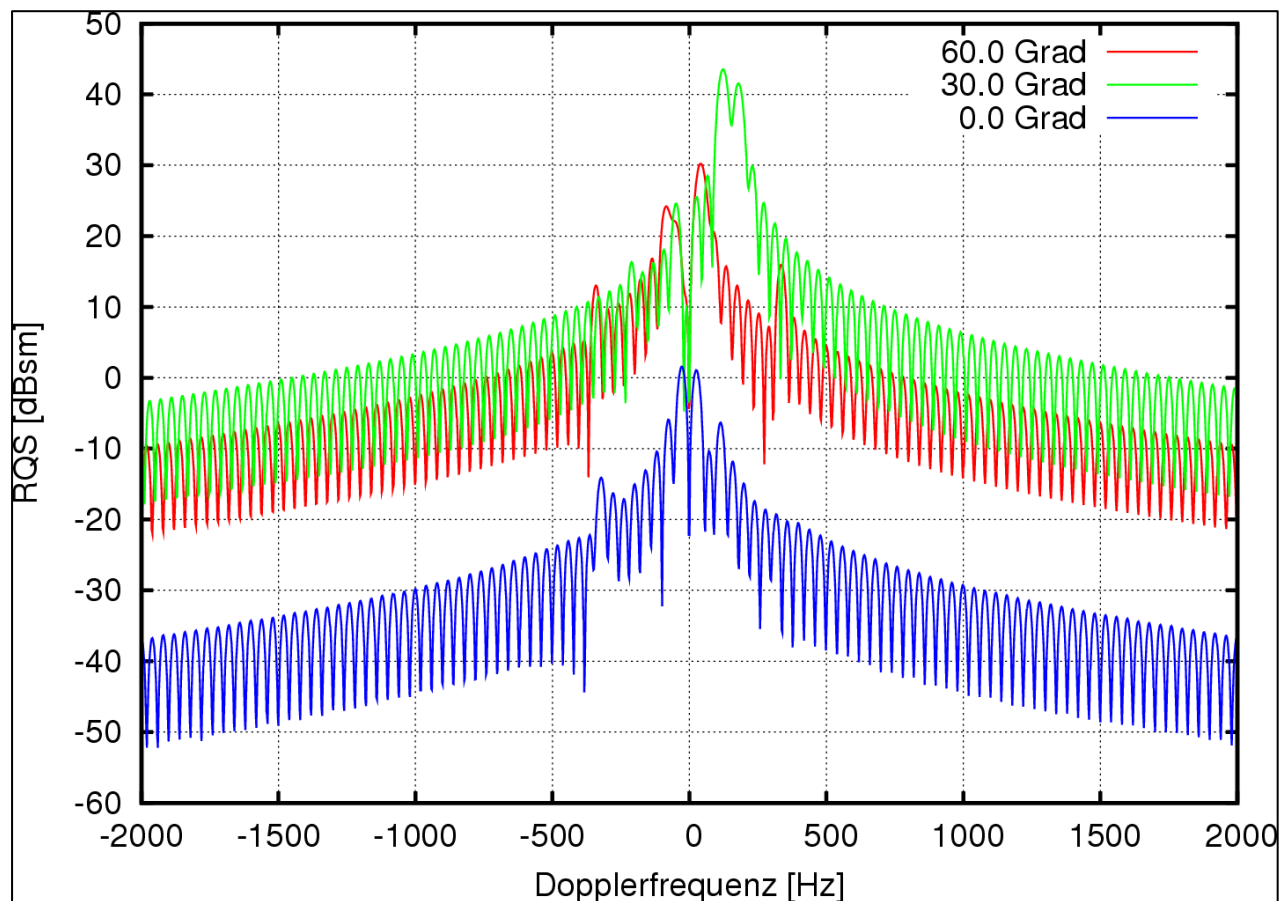


Abbildung 21: Dopplerspektrum in Abhängigkeit von der Rotorstellung bei **vollständiger** Erfassung des Rotors.

Dynamische Radarquerschnittswerte für einen N100-Rotor bei vollständiger Erfassung und einer vollständigen Rotordrehung um die Nabe von 0° bis 360°.

Orientierung der Nabe zur Radaranlage $\varphi=90^\circ$.

Die Achse der Säule wird von der Radarantenne unter einem Winkel von $\Theta=90^\circ$ erfasst, d. h. die Höhe der Nabe ist vergleichbar der Antennenhöhe.

Zusätzlich ist ein Medianwert von 2° angegeben.

Frequenz: 5,6 GHz

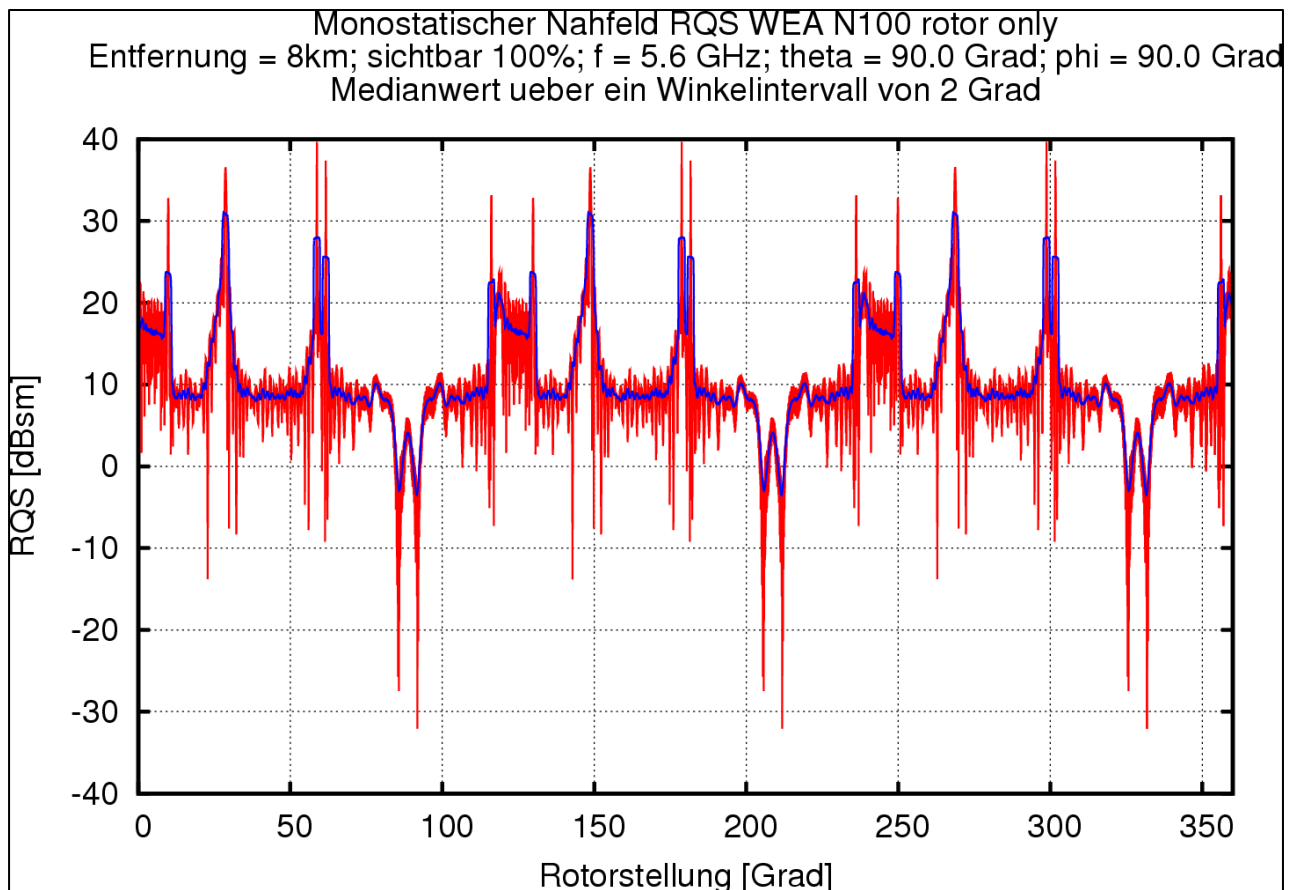


Abbildung 22: Dynamischer RQS in Abhängigkeit von der Rotordrehung. Darstellung für eine vollständige Rotorumdrehung bei **vollständiger** Erfassung des Rotors.

Der Radarquerschnitt dieser WEA für diese Rotororientierung variiert somit zwischen kurzzeitig ca. 1 qm und kurzzeitig ca. 1100 qm.

Dopplerspektrum der dynamischen Radarreflexion für eine Rotordrehzahl vom 15,0 rpm -/ Umdrehung pro Minute.

Die Rotorstellung 0° bedeutet eine Orientierung des Rotors, bei der eine Rotorblattvorderkante senkrecht zum Radar orientiert ist.

Die Rotorstellung 30° bedeutet eine Orientierung des Rotors, bei der keine Rotorblattvorderkante senkrecht zum Radar orientiert ist.

Die Rotorstellung 60° bedeutet eine Orientierung des Rotors, bei der eine Rotorblattthinterkante senkrecht zum Radar orientiert ist.

Orientierung der Nabe zur Radaranlage $\varphi=90^\circ$.

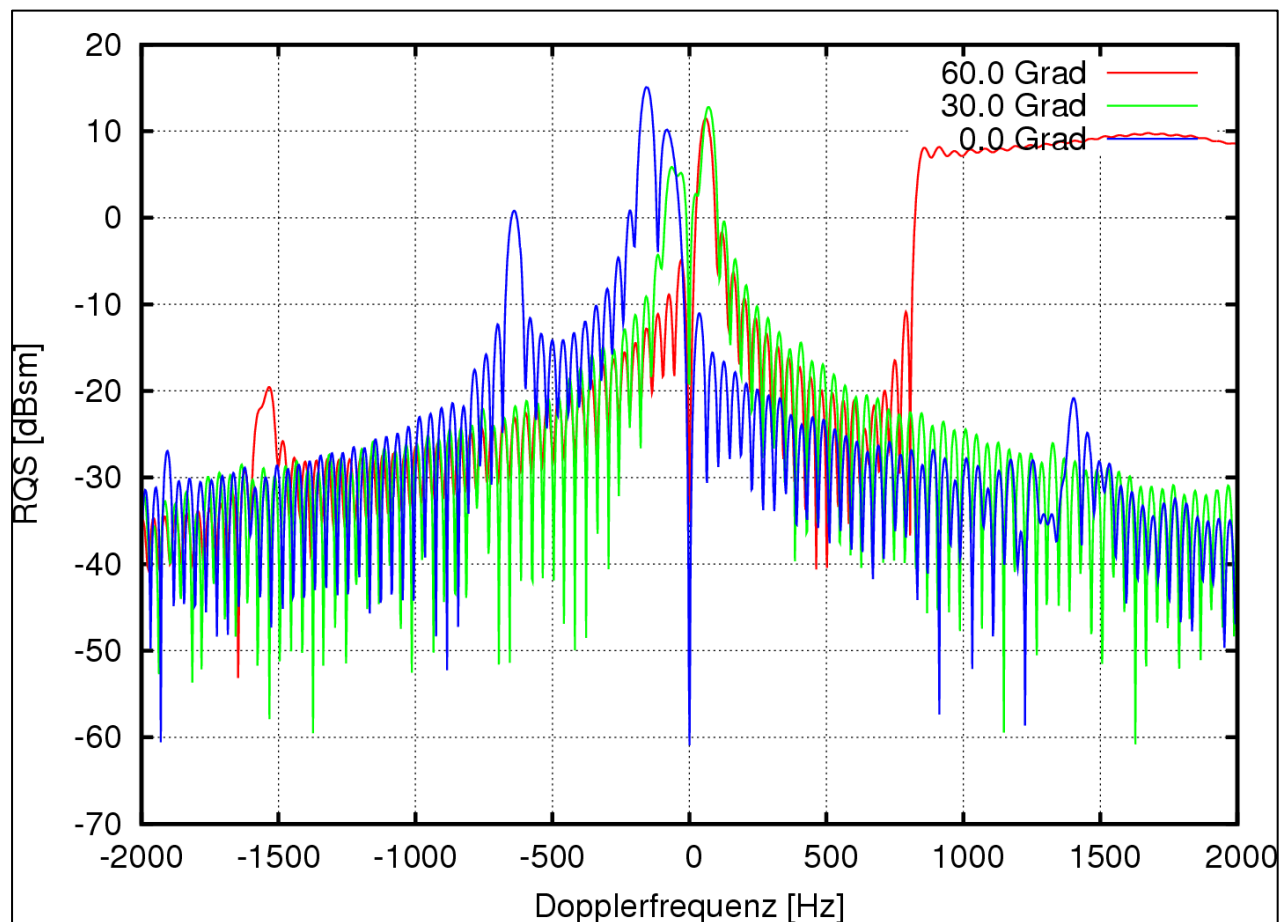


Abbildung 23: Dopplerspektrum in Abhängigkeit von der Rotorstellung bei **vollständiger** Erfassung des Rotors.

4.4. Störvolumen („Impact-Zone“)

Durch Windenergieanlagen liegen Verschattungswirkungen vor. Diese führen bei relativ kurzen Distanzen zwischen einem Wetterradar und einer WEA, die die Antennenhöheposition übertagt, zu messtechnisch feststellbaren Feldstärkeminderungen. Bei größeren Distanzen liegt dieser Einfluss im Hinblick auf die Messungen von u. a. Niederschlag und Scherwinden nicht mehr vor, vgl. Anhang F.

Die Ursache begründet sich in der Volumenmessung. Dabei ist zwischen der Reflexionsintensität eines konkreten Objektes und der mittleren Reflektivität eines deutlich größeren Volumens zu unterscheiden, das nur zu einem kleinen Teil durch WEA oder nur durch einem Teil der WEA „ausgefüllt“ wird. Bei größeren Distanzen wird der Anteil, den die WEA dabei ausfüllt, kleiner. Zugleich besteht bei größeren Distanzen die Möglichkeit, dass mehrere als eine WEA in diesen Volumenelement hineinragt.

4.4.1. Theoretische Betrachtung des Störvolumens

Eine WEA stört die Radarmessung nicht ausschließlich an ihrem direkten Standort, sondern beeinträchtigt die Messung in einem gewissen Bereich um die WEA. Bei dem Messverfahren eines Wetterradars wird nicht die Reflektivität eines einzelnen Ziels gemessen, sondern die Reflektivität innerhalb des radarspezifischen Auflösungsvolumens, welches sich bei zunehmender Distanz aufweitet. Die Windenergieanlage beeinflusst dabei die Radarmessung innerhalb des gesamten Volumenelements. [19],[22]

Das Auflösungsvolumen kann wie folgt definiert werden:

$$V = \frac{\pi \cdot R^2 \theta_0 \phi_0}{4} \cdot \frac{c\tau}{2}$$

wobei θ_0 der horizontale und φ_0 der vertikale Öffnungswinkel der Radarantenne ist. R ist die Entfernung zum Radar, c die Lichtgeschwindigkeit und τ die Sendeimpulsdauer des Radars. [19],[22]

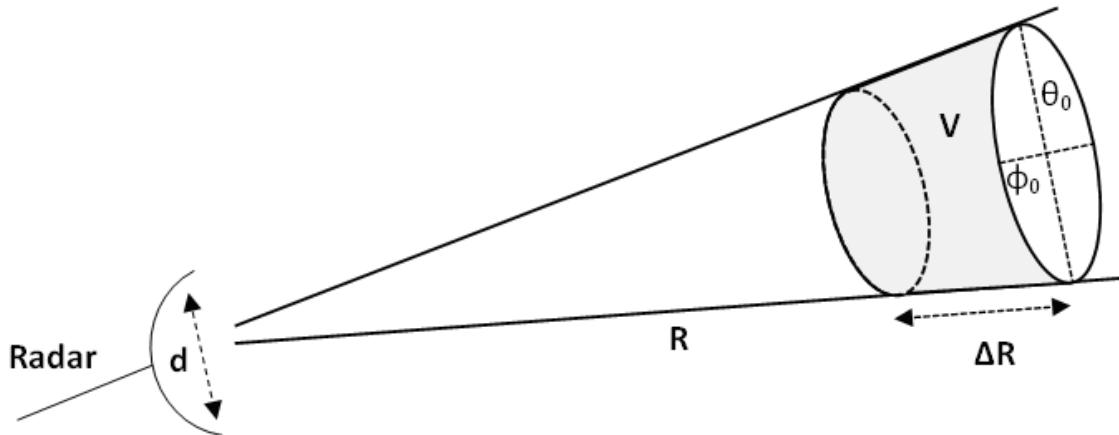


Abbildung 24: Auflösungsvolumen

4.4.2. Definition des Störvolumens (Impact Zone)

Die Größe des Volumens wird durch die Halbwertsbreite der Radarantenne (also durch den horizontalen und vertikalen Öffnungswinkel) und die Sendeimpulsdauer definiert.

Die Breite b (die tangentielle Ausdehnung) des Störvolumens aus Sicht des Radars kann mit Hilfe des horizontalen Öffnungswinkels $\phi=1^\circ$ und der Entfernung R zum Radar berechnet werden. Bei der Breite muss beachtet werden, dass bei einer Abtastung des Areals über Azimut die WEA über die zweifache Breite des Auflösungsvolumens als Störquelle angesehen werden kann. Aus diesem Grund muss die Breite, um dem „worst-case“ zu entsprechen, doppelt so groß sein wie der horizontale Öffnungswinkel ϕ . Dieser Kreisabschnitt berechnet sich dann nach

$$b = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{360^\circ} \cdot (2 \cdot \phi)$$

Die Länge l (radiale Ausdehnung) eines Störvolumens radial zur Radaranlage kann mit Hilfe der Länge ΔR des Auflösungsvolumens berechnet werden. Auch hier muss wie bei der Breite der „worst-case“ angenommen werden. Es muss daher für die Länge des Störbereichs die doppelte Länge des Auflösungsvolumens festgelegt werden.

$$l = 2 \cdot \Delta R = c\tau$$

Hinweis: Es ist nicht bekannt, mit welcher exakten Sendeimpulsdauer τ das Wetterradar am Standort Türkheim arbeitet, daher wurde ein Wert von $1,66 \mu\text{s}$ angenommen. Dies entspricht in etwa der radialen Länge des DWD-Messrasters von 250 m.

Die folgende Skizze veranschaulicht die Bestimmung der Größe des Störbereichs.

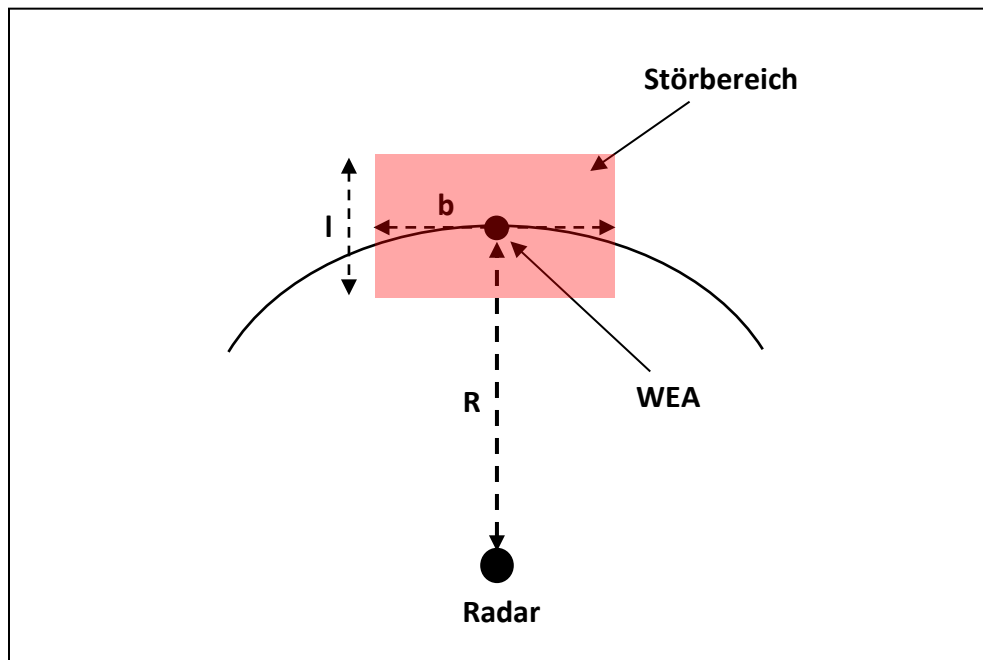


Abbildung 25: Definition des Störvolumens (Draufsicht)

Die Höhe des Störvolumens ist auf die Gesamthöhe (bis Rotorblattspitze) einer WEA begrenzt.

Hinweis „Worst-Case“-Betrachtung:

Die WEA kann im ungünstigsten Fall so platziert sein, dass die vierfache Größe des Auflösungsvolumens gestört ist (daher doppelte Länge und Breite bei der Berechnung).

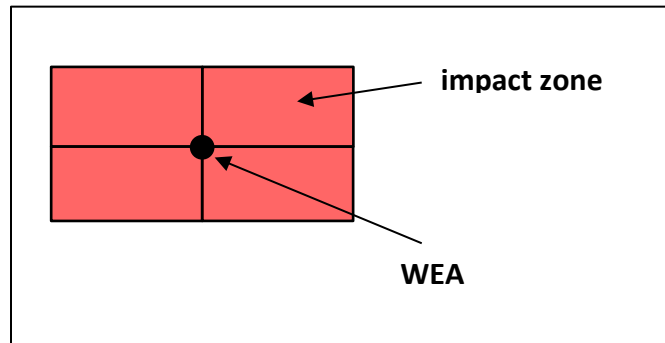


Abbildung 26: Größe des Störvolumens bei ungünstigster WEA-Position (Draufsicht)

Das jeweilige Störvolumen im Nahbereich einer WEA kann daher mindestens mit 2° Azimut x 500 m x Höhe der WEA angegeben werden.

Die nachfolgende Abbildung 27 zeigt eine perspektivische Darstellung des Störvolumens einer Beispiel-Windparkplanung (ca. 8 km vom Radar entfernt). Die Höhe dieses beeinträchtigten Raumvolumens ist mit der maximalen Höhe (bis Rotorblattspitze) der WEAs gleichgesetzt worden.

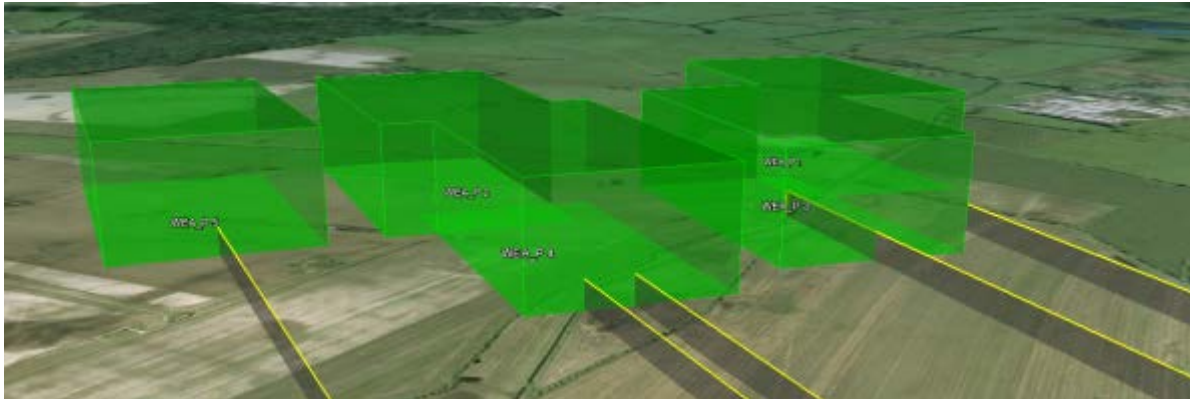


Abbildung 27: Perspektivische Darstellung des beeinträchtigten Raumvolumens durch eine Beispiel Windparkplanung (ca. 8 km vom Radar entfernt) [10]

Die Abbildung 28 zeigt das durch die WEA beeinträchtigte Gebiet in der Draufsicht.

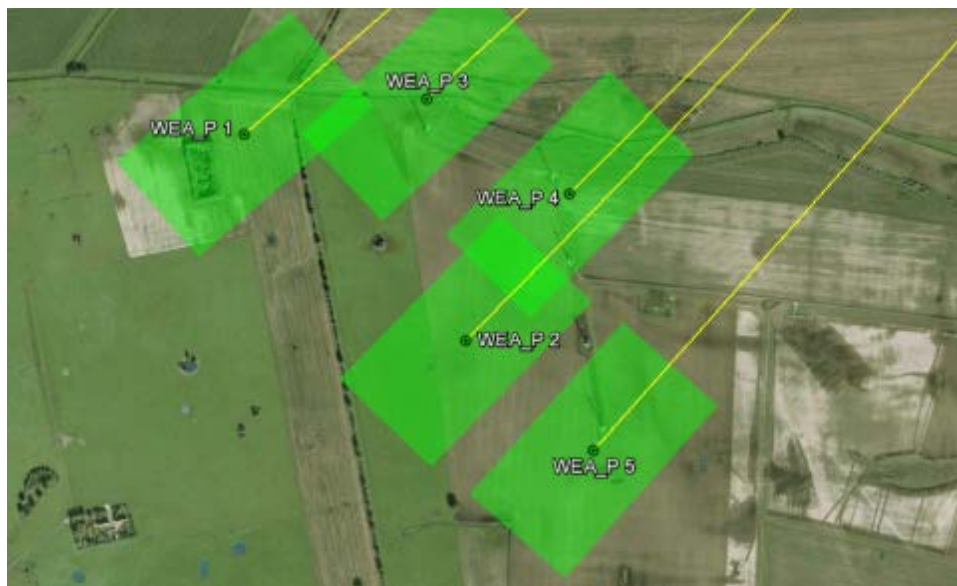


Abbildung 28: Beeinträchtigttes Raumgebiet in der Draufsicht
(Beispielwindpark, ca. 8 km vom Radar entfernt) [10]

4.4.3. Anwendung auf das Messraster des Deutschen Wetterdienstes

Erste messtechnische Nachweise mit dem neuen dualpolarimetrischen Radarsystem vom Typ EEC DWSR-5001C zeigen auf der Grundlage einer Zelleneinteilung mit einer Ausdehnung von mind. 1° tangential sowie 250 m radial einen Umgebungsbereich um eine WEA von ein bis vier Zellen, in dem Messergebnisse beeinträchtigt werden oder nicht nutzbar sind. Messtechnische Ergebnisse des DWD zeigen, dass infolge der hohen Reflektivitäten von WEA gemäß dem Gutachter vorliegender Messergebnisse des DWD teilweise Störergebnisse mit über 46 dBz generiert werden, die auf eine Gewitterzelle hinweisen. Eine Messung von 28 dBz und mehr würde in dem Zusammenhang mäßigen bis starken Niederschlag bedeuten.

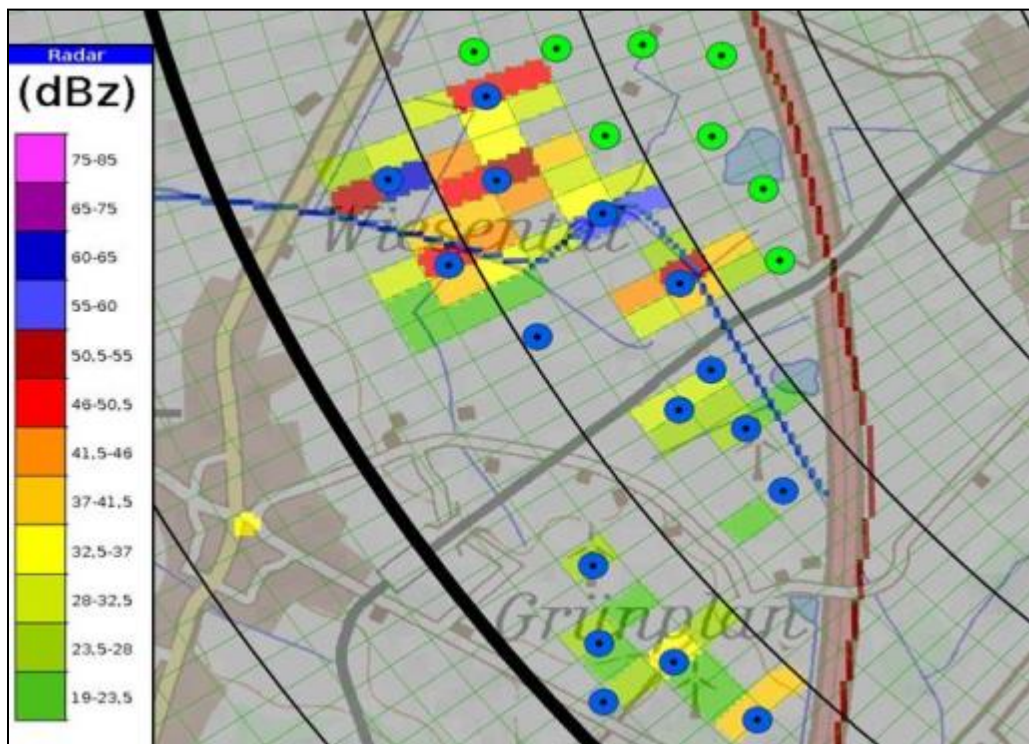


Abbildung 29: Beispielmessergebnis eines DWD-Radars (Die blauen Kreise kennzeichnen Standorte von WEAs.) Quelle: Deutscher Wetterdienst [28]

Die Abbildung 29 zeigt ein Beispielmessergebnis des DWD. Es handelt sich um das Messergebnis eines Niederschlagsscans (Precepitation-Scan). Ausschließlich die Ein-

flüsse von WEA sind dargestellt. Die Messergebnisse sind in einem Messraster mit einer Zellengröße von $1^\circ \times 250 \text{ m}$ auf den Radarstandort zentriert dargestellt. Diese werden bei gemessenen Wetterphänomenen oder Fehlechos mit einem Farbcode versehen.

Die Abbildung 30 kennzeichnet, welche Zellen des Messrasters des DWD durch die Beispiel-Windparkplanung (*orangene Zellen*) betroffen sein können. Dabei sind die grünen Raumbereiche auf die WEA zentrierte Volumen von jeweils doppelter Ausdehnung, um die Erfassung durch Nebenkeulen in einer ersten Näherung zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 4.4.4). Diese sind die maximal durch WEA beeinflussten Gebiete, in denen ein Einfluss auf das Zellerkennungs- und Zellverfolgungsverfahren KONRAD erwartet werden muss.



Abbildung 30: Mögliche betroffene Zellen des Messrasters des DWD-Radars durch die WEA-Planung.(Beispielwindpark, ca. 8 km vom Radar entfernt) [10]

4.4.4. Empfang durch Nebenkeulen

Die vorherigen Ergebnisse zum Störgebiet um eine WEA basieren auf der Annahme, dass eine WEA ausschließlich durch die Hauptkeule der Radarantenne (Öffnungswinkel) erfasst wird. Es ist gemäß des Beispiels im Anhang F nicht auszuschließen, dass ebenfalls eine Erfassung der WEAs durch die Nebenkeulen der Radarantenne erfolgen kann. Durch Überlagerungen zweier eng und äquidistant zum Radar angeordneter WEA ist diese Möglichkeit grundsätzlich nicht auszuschließen. Es gibt bisher noch keine messtechnisch rückführbaren Untersuchungen, bis zu welcher Nebenkeule und unter welchen Randbedingungen die WEAs tatsächlich erfasst werden. Im Folgenden wird daher gezeigt, wie sich die Ergebnisse ändern würden, wenn eine Erfassung durch Nebenkeulen erfolgt.

Die nachfolgende Abbildung 31 zeigt einen Ausschnitt eines typischen Antennendiagramms eines Wetterradars.



Abbildung 31: Antennendiagramm eines Wetterradars (Ausschnitt von -10° bis +10°)

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

Im Folgenden wird angenommen, dass die WEAs nicht nur durch die Hauptkeule, sondern ebenfalls durch die erste Nebenkeule erfasst werden. In Abbildung 31 ist ein Bereich von $-2,5^\circ$ bis $+2,5^\circ$ rot gekennzeichnet, welcher die Hauptkeule sowie die linke und rechte Nebenkeule einschließt. Der Erfassungszeitraum einer WEA durch die Radarantenne vergrößert sich hierdurch von ca. 0,07 Sekunden (nur für die Hauptkeule) auf ca. 0,35 Sekunden - inkl. der jeweils ersten Nebenkeule.

Das nachstehend dargestellte Störgebiet wurde mit identischer Herangehensweise bestimmt wie in Kapitel 4.4.2, mit Ausnahme des Antennenöffnungswinkels. Der Antennenöffnungswinkel der Radarantenne beträgt ca. 1° und wird an dieser Stelle durch den angegebenen Bereich von 5° ersetzt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt am Beispiel des WEA-Standortes der WEA_P 1, wie sich die Störzelle unter Einbezug der Nebenkeulen im Vergleich zur typischen Störzelle vergrößert.

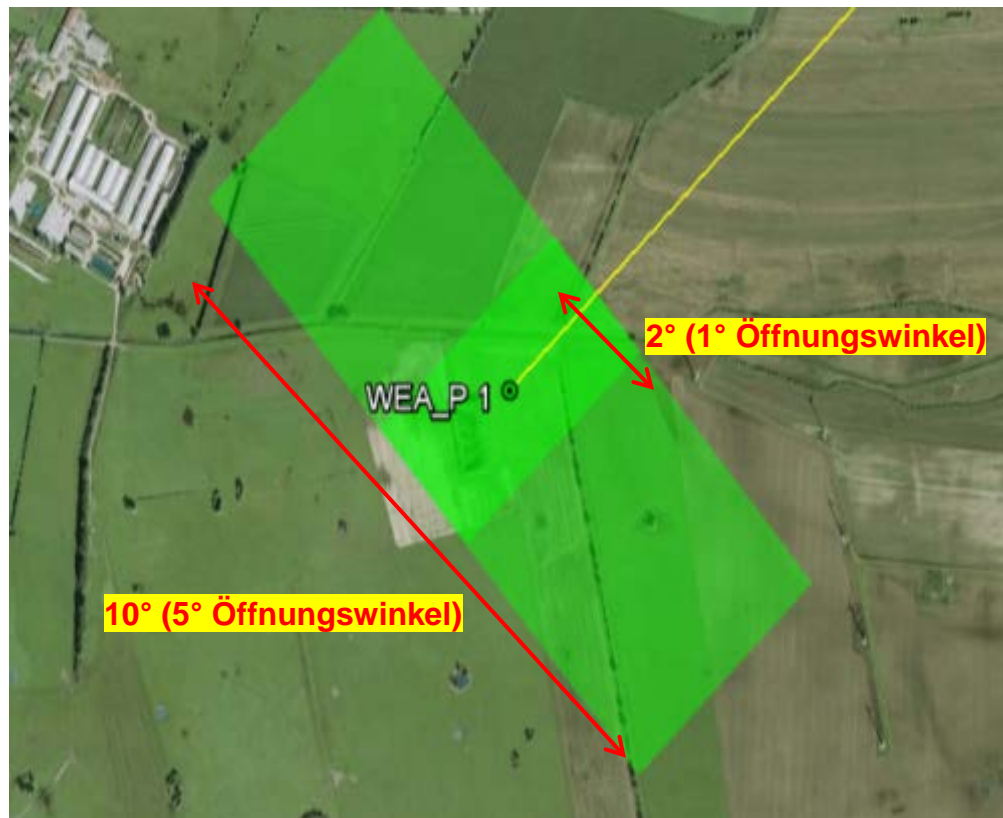


Abbildung 32: Störgebiet unter Berücksichtigung des Empfangs durch Nebenkeulen in der Draufsicht
(Beispielwindpark, ca. 8 km vom Radar entfernt) [10]

5. Grundsatzuntersuchung – Beispielwindparks

Die Einflüsse und Auswirkungen von Windenergieanlagen werden nachstehend auf ausgewählte Bestandwindparks in der Umgebung des Wetterradars Türkheim sowie auf einige Planungsbeispiele angewendet.

5.1. Beschreibung der örtlichen Situation

Die nachfolgende Übersicht zeigt die Bestandssituation im Bereich des Wetterradarstandortes Türkheim. Es befinden sich bereits 56 WEAs innerhalb des 15 km DWD-Schutzbereiches.

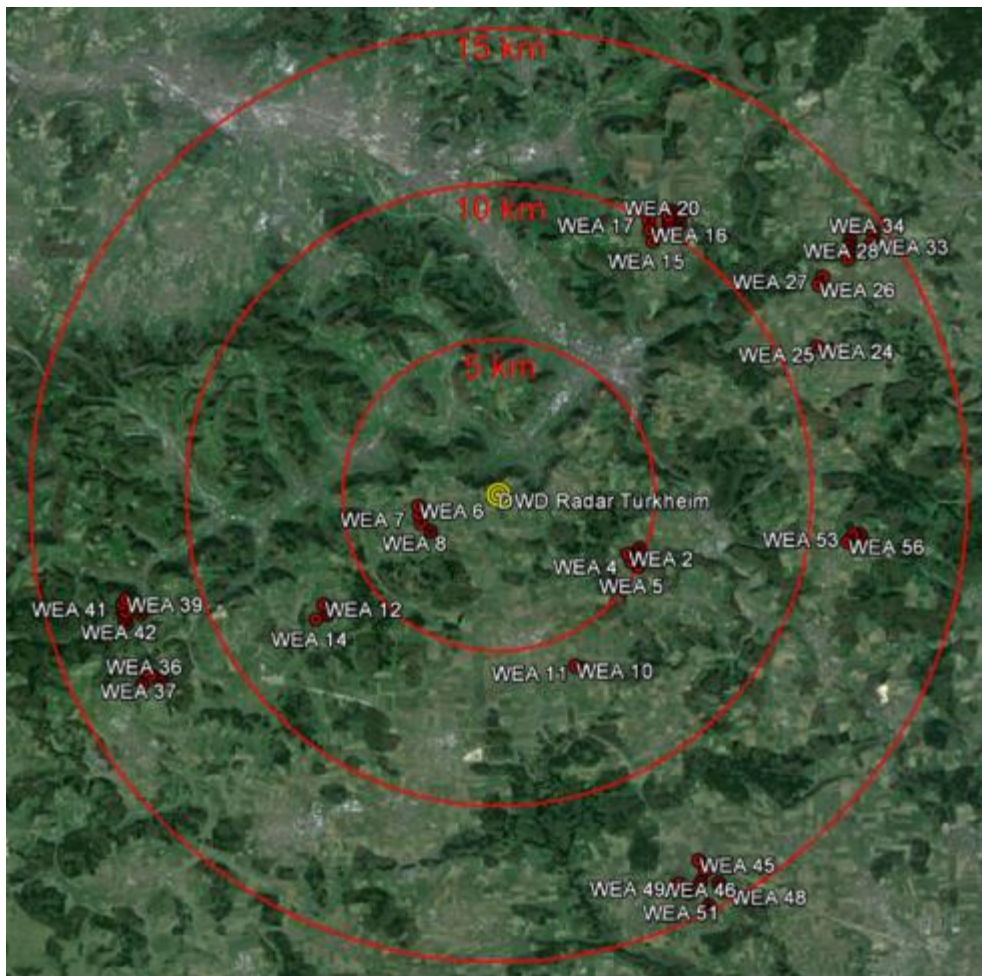


Abbildung 33: Alle Bestandsanlagen innerhalb des DWD-Schutzbereichs von 15 km [10]

5.2. Untersuchung von bestehenden WEA-Gruppen

Die nachstehende Abbildung zeigt auf der Gesamtübersicht zwei beispielhaft ausgewählte Windparks unterschiedlicher Größe.

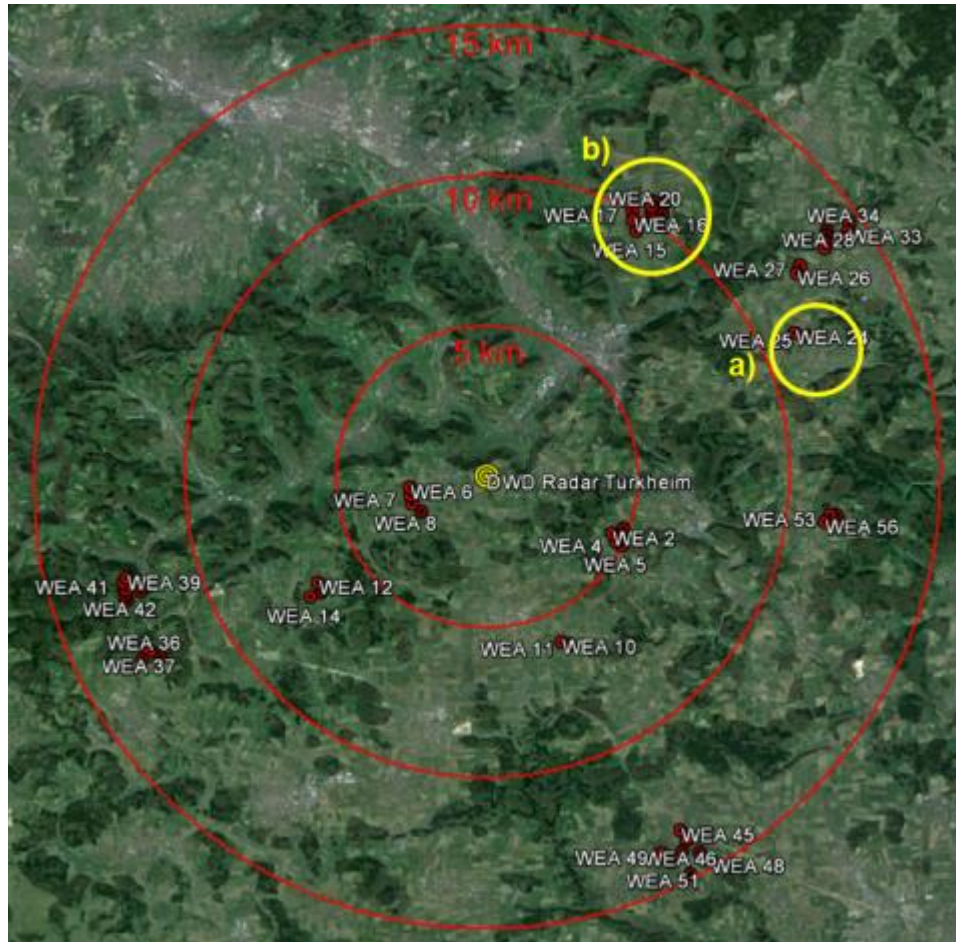


Abbildung 34: Gesamtübersicht - Auswahl von 2 Bestandwindparks als Untersuchungsbeispiele [10]

a) Kleine WEA-Anordnung

- Anzahl der WEAs: 2
- Entfernung zum Radar: ca. 11,2 km bis 11,6 km

b) Große WEA-Anordnung

- Anzahl der WEAs: 9
- Entfernung zum Radar: ca. 9,5 km bis 11,0 km

5.2.1. a) Kleine bestehende WEA-Gruppe

Die untersuchte kleine bestehende WEA-Gruppe befindet sich ca. 11,4 km nordöstlich des Radarstandortes Türkheim.

	Nabenhöhe	Rotordurchmesser	Gesamthöhe
WEA 24	80 m	62 m	111 m
WEA 25	80 m	62 m	111 m

Tabelle 2: WEA-Daten

Die zu berücksichtigende Anordnung von WEAs ist durch die nachstehenden Abbildungen dokumentiert.

Die Standorte der WEAs sind in der nachfolgenden Abbildung rot gekennzeichnet, und die Einstrahlrichtungen des Wetterradars Türkheim sind gelb dargestellt.



Abbildung 35: Bezug zwischen dem Radarstandort und dem Standort der WEAs. Die Distanzkreise von 5 km, 10 km und 15 km sind zusätzlich gekennzeichnet. [10]

Die in der folgenden Abbildung 36 dargestellten Richtungsbezüge befinden sich auf Höhe der Radarantenne der Anlage Türkheim (765 müNN), was einem Einstrahlwinkel von 0° entspricht (Unterkante des Radarstrahls bei $0,5^\circ$ Elevation). Die WEAs erreichen eine Gesamthöhe (bis Rotorblattspitze) von 786 müNN.

Bei einem Einstrahlwinkel von $0,5^\circ$ Elevation relativ zum Radar (siehe Richtungsbezüge) befindet sich der oberste Teil des Rotors der WEAs oberhalb der Unterkante des Radarstrahls. Somit wird ausschließlich der oberste Teil des WEA-Rotors von ca. 21 m durch das Radar erfasst.



Abbildung 36: Übersicht über die Richtungsbezüge des WEA-Standortes zum Radarstandort Türkheim unter Berücksichtigung der Topografie. [10]

Antennenhöhe: 765 müNN

WEA-Höhe: ca. 786 müNN

Bewertung:

Verschattung (Strahlblockierung) durch die WEAs

Unter Berücksichtigung der Nabenhöhe sowie der Topografie generieren die Bestandsanlagen aufgrund der Höhenposition des Standortes gegenüber der Höhenposition der Radaranlage keine Verschattungen durch die statischen WEA-Anteile. Durch den Anteil des Rotors, welcher durch das Radar erfasst wird, ist kein praxisrelevanter Verschattungseffekt gegeben.

Antennenerhöhung des Radars Türkheim

Eine Erhöhung der Radarantennenposition um mindestens 12 m wird mit Verweis auf die bisherige Schutzzonendefinition diese lokale Situation formal lösen können und die Zulassung weiterer WEA dieser Gesamthöhe in diesem Gebiet ermöglichen.

Beeinträchtigter Bereich um die WEA-Standorte (Störvolumen, „Impact-Zone“)

Aufgrund des Rotors der WEAs, welcher durch das Radar erfasst wird, ist ein Störgebiet nach Kapitel 4.4 gegeben.

Das Störvolumen besteht aus zwei sich überlagernden Zellen mit einer Größe von jeweils 2° tangential und 500 m radial relativ zum Radarstandort. Die Höhe des Störvolumens ist mit der jeweiligen WEA-Gesamthöhe gleichgesetzt worden.

Die Abbildung 37 zeigt eine perspektivische Ansicht des Störvolumens der zwei Bestandsanlagen.



Abbildung 37: Perspektivische Darstellung des Störvolumens [10]

Abbildung 38 zeigt das betroffene Gebiet in der Draufsicht.



Abbildung 38: Störgebiet in der Draufsicht [10]

Tangential zur Einstrahlrichtung des DWD-Radars Türkheim ist eine durch die 2 WEAs generierte Stör Zone (Impact-Zone) des Wetterradars von insgesamt bis zu ca. 657 m festzustellen.

Die radiale Ausdehnung des Störzelligebietes bzgl. des Radarstandortes Türkheim durch die WEAs kann mit bis zu ca. 807 m angegeben werden.

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

Die wirksame Höhe der Störzone kann mit bis zu ca. 111 m über Grund, bzw. bis zu ca. 786 m über NN angegeben werden.

Maßnahmen zur Minderung der WEA-Einflüsse dieser Gruppierung:

Der Rotorkreis der beiden WEA wird aufgrund der Höhe vom Precipitationscan bei einem angenommenen Elevationswinkel von $0,5^\circ$ des Radars Türkheim eingeschränkt erfasst. Betroffen ist nur der oberste Teil des WEA-Rotors von ca. 21 m.

- Eine Lösung der formalen Problematik bzgl. der Schutzzone wäre durch eine Nabenhöhenminderung um 21 m gegeben.
- Alternativ ist festzuhalten, dass die eingeschränkte Erfassung der WEA-Rotoren einer Reflexionsminderung dieser WEA entspricht, die durch eine Reflexionsminderung der Rotorblätter weiter unterstützt werden kann.
- Eine weitere Alternative wäre in diesem Fall dadurch gegeben, dass der unterste Elevationswinkel des Radars in der Richtung dieser WEA-Gruppe geringfügig angehoben würde. Diese Anhebung dürfte die vorhandene Beschränkung, die in anderen Richtungen durch die Topografie erzwungen wird, nicht überschreiten.

5.2.2. b) Große bestehende WEA-Gruppe

Die untersuchte große bestehende WEA-Gruppe befindet sich ca. 9,5 km bis ca. 11,0 km nordöstlich des Radarstandortes Türkheim.

	Nabenhöhe	Rotordurchmesser	Gesamthöhe
WEA 15	105 m	90 m	150 m
WEA 16	105 m	92 m	151 m
WEA 17	100 m	100 m	150 m
WEA 18	74 m	52 m	100 m
WEA 19	74 m	52 m	100 m
WEA 20	74 m	52 m	100 m
WEA 21	74 m	52 m	100 m
WEA 22	50 m	44 m	72 m
WEA 23	74 m	52 m	100 m

Tabelle 3: WEA-Daten

Die Standorte der WEAs sind in der nachfolgenden Abbildung rot gekennzeichnet, und die Einstrahlrichtungen des Wetterradars Türkheim sind gelb dargestellt.



Abbildung 39: Bezug zwischen dem Radarstandort und dem Standort der WEAs. Die Distanzkreise von 5 km, 10 km und 15 km sind zusätzlich gekennzeichnet. [10]

Die in der folgenden Abbildung 40 dargestellten Richtungsbezüge befinden sich auf Höhe der Radarantenne der Anlage Türkheim (765 müNN), was einem Einstrahlwinkel von 0° entspricht (Unterkante des Radarstrahls bei $0,5^\circ$ Elevation). Die WEAs erreichen eine Gesamthöhe (bis Rotorblattspitze) von bis zu 830 müNN.

Bei einem Einstrahlwinkel von $0,5^\circ$ Elevation relativ zum Radar (siehe Richtungsbezüge), befindet sich der obere Teil der WEAs oberhalb der Unterkante des Radarstrahls. Es wird der obere Teil des WEAs von ca. 65 m durch das Radar erfasst.



Abbildung 40: Übersicht über die Richtungsbezüge des WEA-Standortes zum Radarstandort Türkheim unter Berücksichtigung der Topografie. [10]

Antennenhöhe: 765 müNN

WEA-Höhe: ca. 830 müNN

Bewertung:

Verschattung (Strahlblockierung) durch die WEAs

Unter Berücksichtigung der Nabenhöhe sowie der Topografie generieren die Bestandsanlagen aufgrund der Höhenposition des Standortes gegenüber der Höhenposition der Radaranlage eine Verschattung durch die statischen WEA-Anteile. Dies betrifft ausschließlich die drei WEA-Standorte WEA 15 bis WEA 17, welche eine Nabenhöhe von 105 m bzw. 100 m aufweisen. Die WEA-Standorte WEA 18 bis WEA 23 generieren keine Verschattung, da durch den Anteil des Rotors, welcher durch das Radar erfasst wird, kein praxisrelevanter Verschattungseffekt gegeben ist.

Antennenerhöhung des Radars Türkheim

Eine Erhöhung der Radarantennenposition um mindestens 59 m wird mit Verweis auf die bisherige Schutzzonendefinition diese lokale Situation formal lösen können und die Zulassung weiterer WEA dieser Gesamthöhe in diesem Gebiet ermöglichen.

Beeinträchtigter Bereich um die WEA-Standorte (Störvolumen, „Impact-Zone“)

Aufgrund des Rotors der WEAs, welcher durch das Radar erfasst wird, ist ein Störgebiet nach Kapitel 4.4 gegeben.

Das Störvolumen besteht aus 9 sich überlagernden Zellen mit einer Größe von jeweils 2° tangential und 500 m radial relativ zum Radarstandort. Die Höhe des Störvolumens ist mit der jeweiligen WEA-Gesamthöhe gleichgesetzt worden.

Die Abbildung 41 zeigt eine perspektivische Ansicht des Störvolumens der Bestandsanlagen.

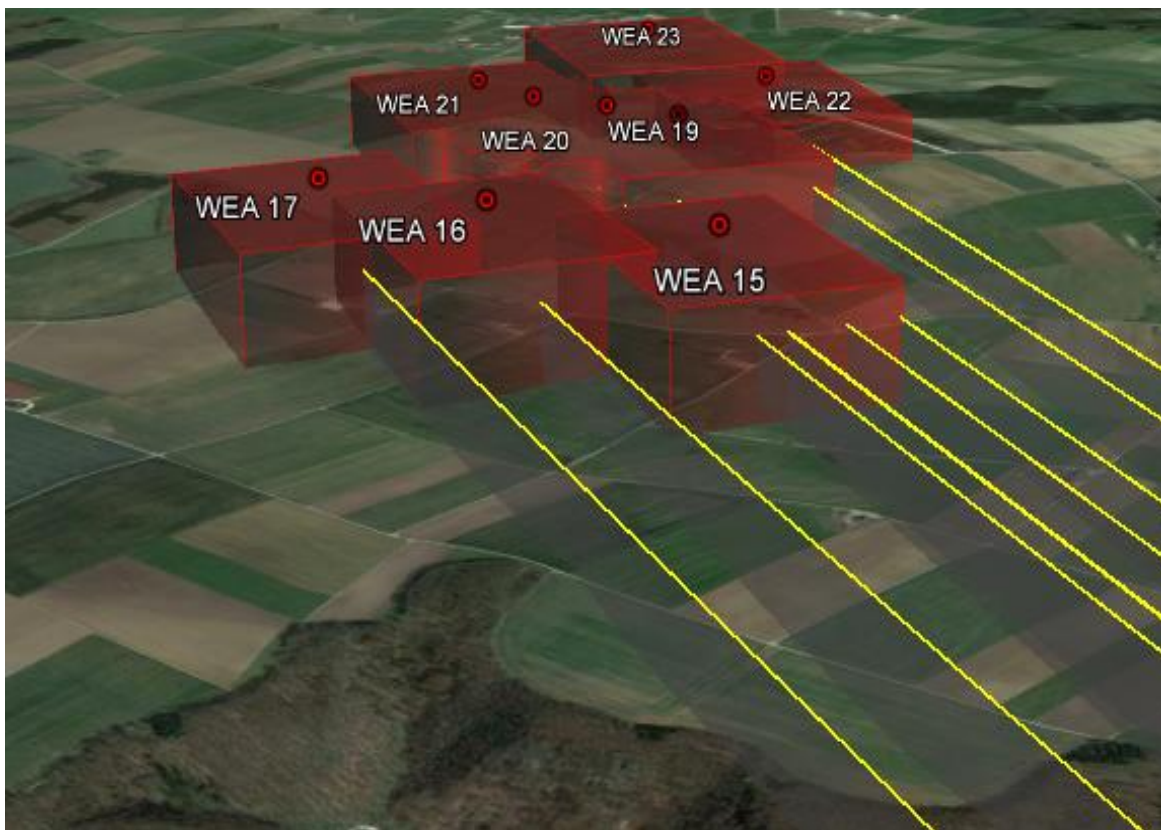


Abbildung 41: Perspektivische Darstellung des Störvolumens [10]

Abbildung 42 zeigt das betroffene Gebiet in der Draufsicht.



Abbildung 42: Störgebiet in der Draufsicht [10]

Tangential zur Einstrahlrichtung des DWD-Radars Türkheim ist eine durch die WEAs generierte Störzone (Impact-Zone) des Wetterradars von insgesamt bis zu ca. 1271 m festzustellen.

Die radiale Ausdehnung des Störzonengebietes bzgl. des Radarstandortes Türkheim durch die WEAs kann mit bis zu ca. 1860 m angegeben werden.

Die wirksame Höhe der Störzone kann mit bis zu ca. 151 m über Grund bzw. bis zu ca. 830 m über NN angegeben werden.

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

Maßnahmen zur Minderung der WEA-Einflüsse dieser Gruppierung:

Der Rotorkreis der WEA wird aufgrund der Höhe vom Precipitationscan bei einem angenommenen Elevationswinkel von $0,5^\circ$ des Radars Türkheim teilweise erfasst.

- Es ist keine Lösung der formalen Problematik bzgl. der Schutzzone, wenn eine Nabhöhenminderung um 65 m in Erwägung gezogen würde.
- Alternativ ist festzuhalten, dass eine eingeschränkte Erfassung des Rotorkreises einer schwachen Reflexionsminderung dieser WEA entspricht. Diese kann durch eine Reflexionsminderung der Rotorblätter weiter unterstützt werden kann.
- Eine weitere Alternative wäre in diesem Fall dadurch gegeben, dass der unterste Elevationswinkel des Radars in der Richtung dieser WEA-Gruppe geringfügig angehoben würde. Diese Anhebung wäre in der Größenordnung der vorhandenen Beschränkung, die in anderen Richtungen durch die Topografie erzwungen wird.

5.3. Untersuchung der Neuplanung von WEA-Gruppen

Die nachstehende Abbildung zeigt auf der Gesamtübersicht zwei beispielhafte Neuplanungen von Windparks innerhalb von WEA-Vorranggebieten. Für die WEA-Planungen wurden ein Gebiet in radartechnisch günstiger topografischer Lage sowie ein Gebiet in radartechnisch schlechter Lage gewählt.

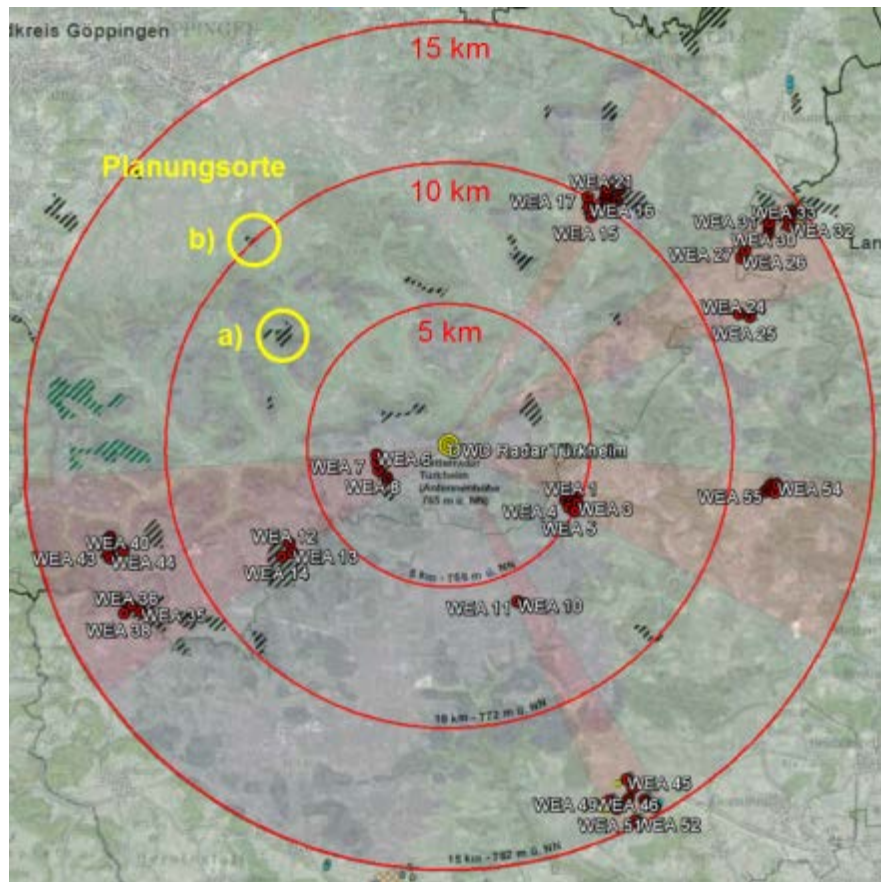


Abbildung 43: Gesamtübersicht – Planung von 2 Windparks als Untersuchungsbeispiele [10]

a) WEA-Neuplanung in radartechnisch schlechter, hoher topografischer Lage

- Anzahl der WEAs: 3
- Entfernung zum Radar: ca. 6,8 km

b) WEA-Planung in radartechnisch günstiger, niedriger topografischer Lage

- Anzahl der WEAs: 3
- Entfernung zum Radar: ca. 10,0 km

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

5.3.1. Neuplanung einer WEA-Gruppe – schlechte topografische Lage

Die untersuchte neugeplante WEA-Gruppe befindet sich ca. 6,8 km nordwestlich des Radarstandortes Türkheim. Die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen WEA-Daten wurden für die Neuplanung angenommen.

	Nabenhöhe	Rotordurchmesser	Gesamthöhe
WEA 1	110 m	100 m	160 m
WEA 2	110 m	100 m	160 m
WEA 3	110 m	100 m	160 m

Tabelle 4: WEA-Daten

Die Standorte der WEAs sind in der nachfolgenden Abbildung grün gekennzeichnet und die Einstrahlrichtungen des Wetterradars Türkheim sind gelb dargestellt.



Abbildung 44: Bezug zwischen dem Radarstandort und dem Standort der WEAs. Die Distanzkreise von 5 km und 10 km sind zusätzlich gekennzeichnet. [10]

Die in der folgenden Abbildung 45 dargestellten Richtungsbezüge befinden sich auf Höhe der Radarantenne der Anlage Türkheim (765 müNN), was einem Einstrahlwinkel von 0° entspricht (Unterkante des Radarstrahls bei $0,5^\circ$ Elevation). Die WEAs erreichen eine Gesamthöhe (bis Rotorblattspitze) bis zu 915 müNN.

Bei einem Einstrahlwinkel von $0,5^\circ$ Elevation relativ zum Radar (siehe Richtungsbezüge) befindet sich nahezu die gesamte WEA oberhalb der Unterkante des Radarstrahls. Es werden sowohl der gesamte Rotor, als auch die Standsäule durch das Radar erfasst.

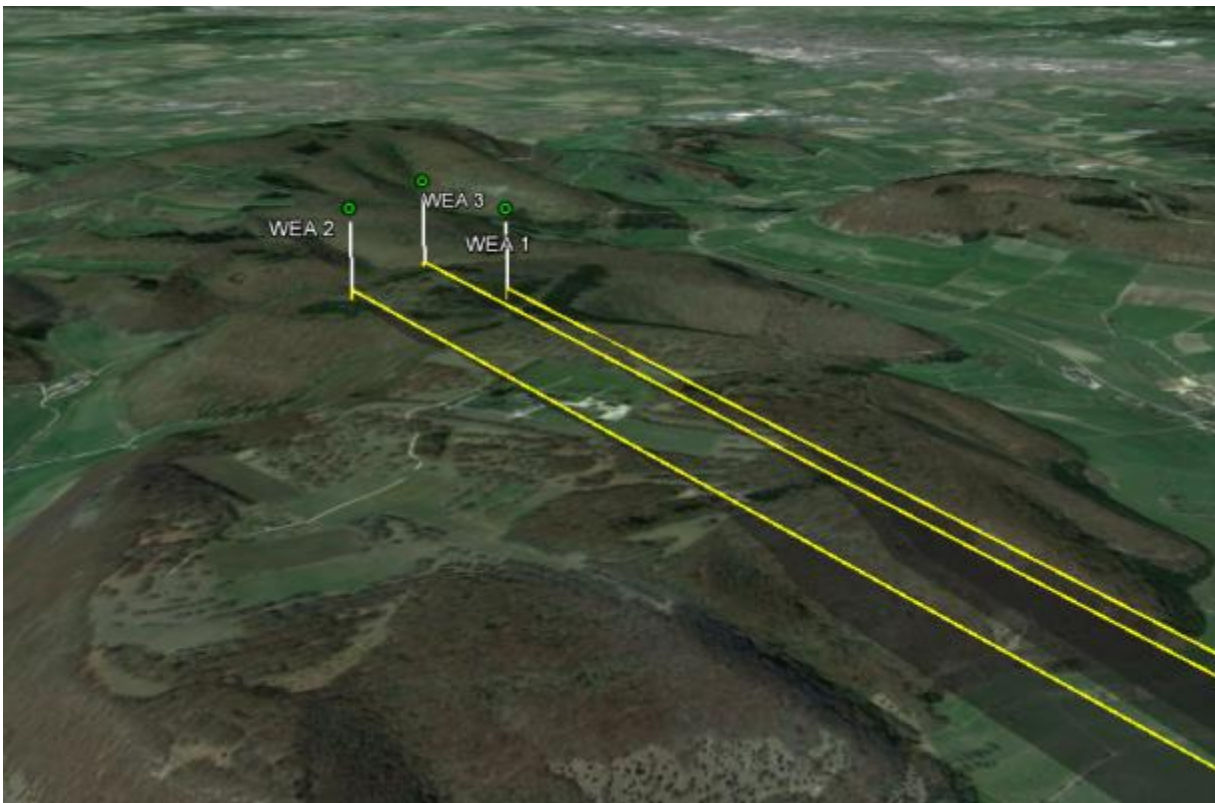


Abbildung 45: Übersicht über die Richtungsbezüge des WEA-Standortes zum Radarstandort Türkheim unter Berücksichtigung der Topografie. [10]

Antennenhöhe: 765 müNN

WEA-Höhe: ca. 915 müNN

Bewertung:

Verschattung (Strahlblockierung) durch die WEAs

Unter Berücksichtigung der Nabenhöhe sowie der Topografie generieren alle geplanten WEAs aufgrund der Höhenposition des Standortes gegenüber der Höhenposition der Radaranlage eine vergleichsweise intensive Verschattung durch die statischen WEA-Anteile, da die Standsäule der WEAs nahezu vollständig in den Radarstrahl hineinragt.

Antennenerhöhung des Radars Türkheim

Eine Erhöhung der Radarantennenposition um mindestens 147 m wird mit Verweis auf die bisherige Schutzzonendefinition diese lokale Situation formal lösen können und die Zulassung weiterer WEA dieser Gesamthöhe in diesem Gebiet ermöglichen.

Beeinträchtigter Bereich um die WEA-Standorte (Störvolumen, „Impact-Zone“)

Aufgrund des Rotors der WEAs, welcher durch das Radar erfasst wird, ist ein Störgebiet nach Kapitel 4.4 gegeben.

Das Störvolumen besteht aus drei sich überlagernden Zellen mit einer Größe von jeweils 2° tangential und 500 m radial relativ zum Radarstandort. Die Höhe des Störvolumens ist mit der jeweiligen WEA-Gesamthöhe gleichgesetzt worden.

Die Abbildung 46 zeigt eine perspektivische Ansicht des Störvolumens der WEA-Planung.

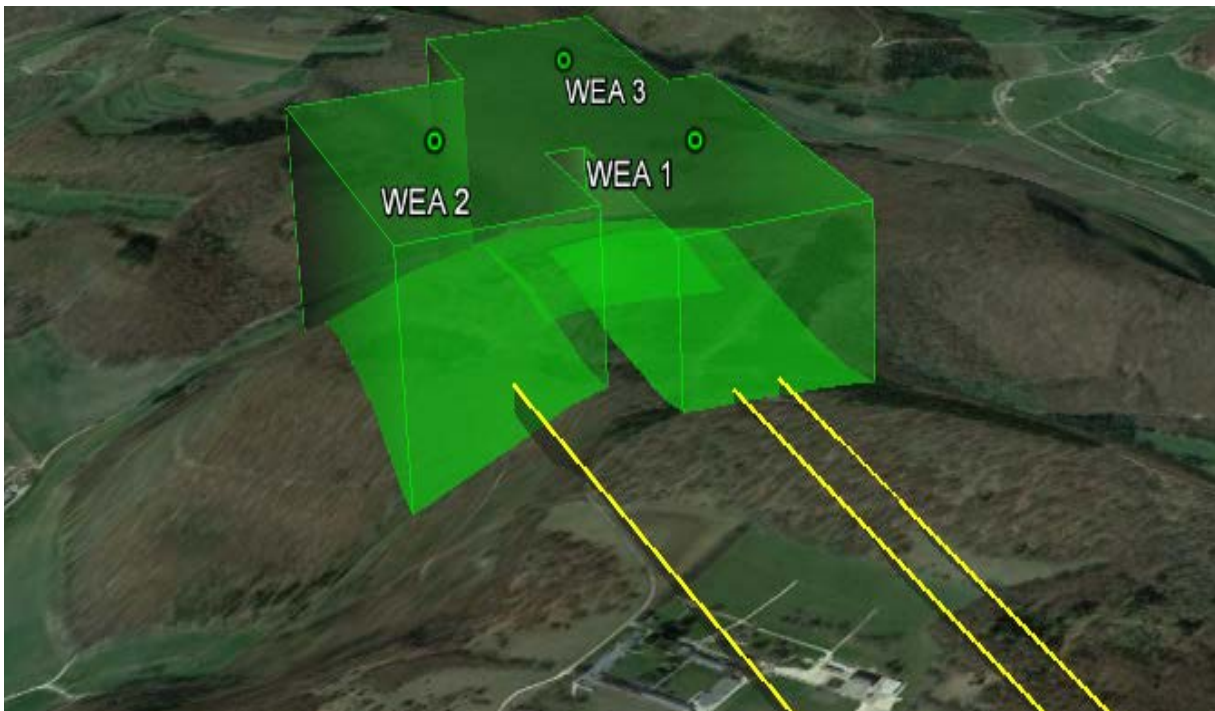


Abbildung 46: Perspektivische Darstellung des Störvolumens [10]

Abbildung 47 zeigt das betroffene Gebiet in der Draufsicht.



Abbildung 47: Störgebiet in der Draufsicht [10]

Tangential zur Einstrahlrichtung des DWD-Radars Türkheim ist eine durch die WEAs generierte Störzone (Impact-Zone) des Wetterradars von insgesamt bis zu ca. 528 m festzustellen.

Die radiale Ausdehnung des Störzelligebietes bzgl. des Radarstandortes Türkheim durch die WEAs kann mit bis zu ca. 817 m angegeben werden.

Die wirksame Höhe der Störzone kann mit bis zu ca. 160 m über Grund bzw. bis zu ca. 915 m über NN angegeben werden.

Maßnahmen zur Minderung der WEA-Einflüsse dieser Gruppierung:

Der Rotorkreis der WEA wird aufgrund der Höhe vom Precipitationscan bei einem angenommenen Elevationswinkel von $0,5^\circ$ des Radars Türkheim vollständig erfasst.

- Eine Lösung der formalen Problematik bzgl. der Schutzzone durch eine Nabenhöhenminderung ist nicht möglich.
- Eine Alternative wäre in diesem Fall dadurch gegeben, dass die räumliche Anordnung der WEA geringfügig dahin gehend geändert wird, dass zwei WEA auf dem gleichen Richtungsbezug angeordnet werden, um die Ausdehnung der Störzone zu mindern. Zugleich sollten für die WEA 1 und 2 gemäß Abbildung 52 gleiche Abstände zum Radar vermieden werden, um eine Überlagerung bei der Erfassung durch Nebenkeulen zu vermeiden.

5.3.2. Neuplanung einer WEA-Gruppe – günstige topografische Lage

Die untersuchte neugeplante WEA-Gruppe befindet sich ca. 10 km nordwestlich des Radarstandortes Türkheim. Die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen WEA-Daten wurden für die Neuplanung angenommen.

	Nabenhöhe	Rotordurchmesser	Gesamthöhe
WEA 1	110 m	100 m	160 m
WEA 2	110 m	100 m	160 m
WEA 3	110 m	100 m	160 m

Tabelle 5: WEA-Daten

Die Standorte der WEAs sind in der nachfolgenden Abbildung grün gekennzeichnet, und die Einstrahlrichtungen des Wetterradars Türkheim sind gelb dargestellt.

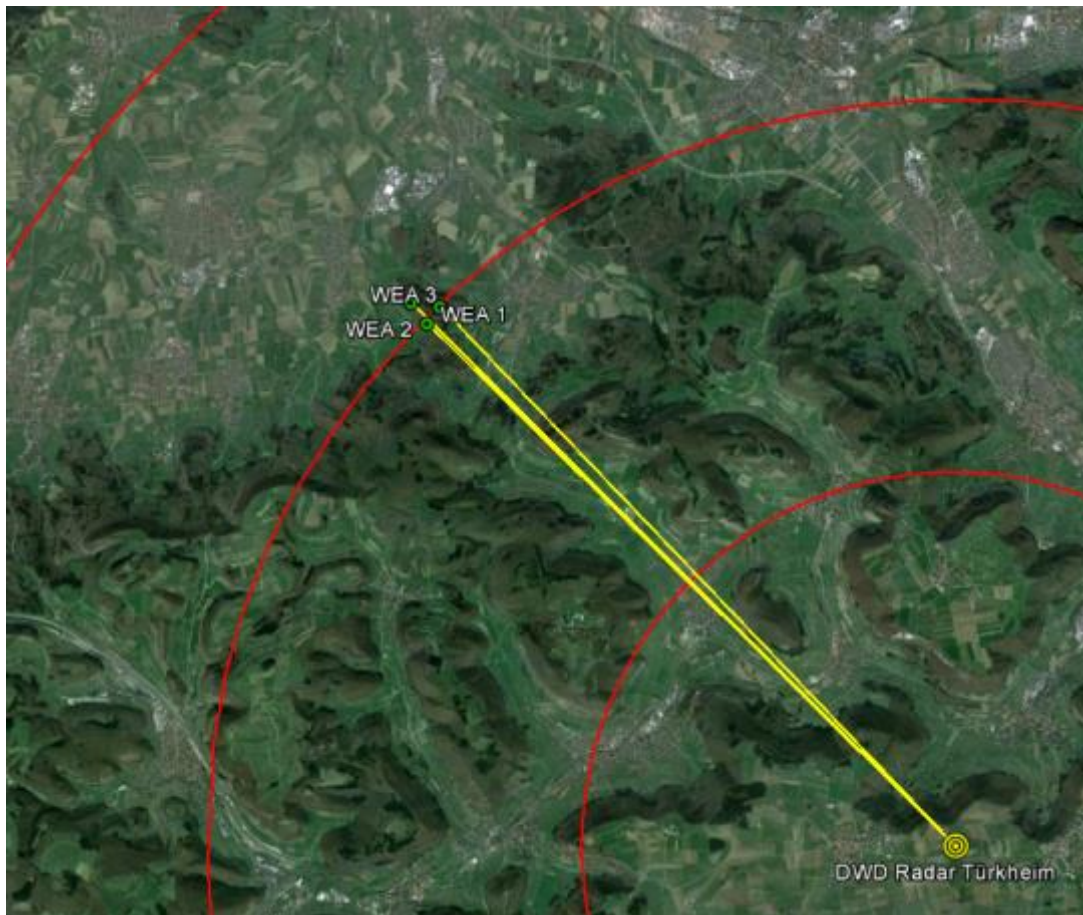


Abbildung 48: Bezug zwischen dem Radarstandort und dem Standort der WEAs. Die Distanzkreise von 5 km, 10 km und 15 km sind zusätzlich gekennzeichnet. [10]

Die in der folgenden Abbildung 49 dargestellten Richtungsbezüge befinden sich auf Höhe der Radarantenne der Anlage Türkheim (765 müNN), was einem Einstrahlwinkel von 0° entspricht (Unterkante des Radarstrahls bei $0,5^\circ$ Elevation). Die WEAs erreichen eine Gesamthöhe (bis Rotorblattspitze) von bis zu 701 müNN.

Bei einem Einstrahlwinkel von $0,5^\circ$ Elevation relativ zum Radar (siehe Richtungsbezüge) befinden sich alle geplanten WEAs unterhalb der Unterkante des Radarstrahls. Die WEAs werden somit nicht durch das Radar erfasst.

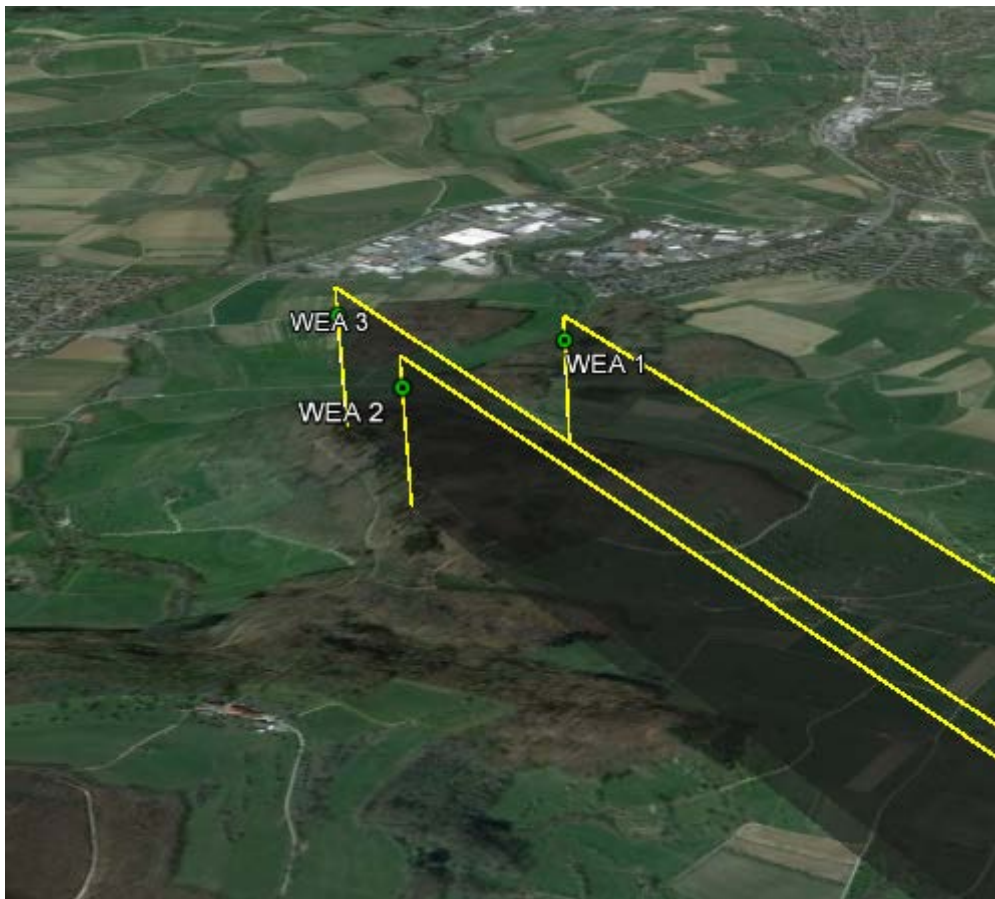


Abbildung 49: Übersicht über die Richtungsbezüge des WEA-Standortes zum Radarstandort Türkheim unter Berücksichtigung der Topografie. [10]

Antennenhöhe: 765 müNN

WEA-Höhe: ca. 701 müNN

Bewertung:

Verschattung (Strahlblockierung) durch die WEAs

Unter Berücksichtigung der Nabenhöhe sowie der Topografie generieren die geplanten WEAs aufgrund der Höhenposition des Standortes gegenüber der Höhenposition der Radaranlage keine Verschattungen, da sich die Standsäule vollständig unterhalb des Antennenstrahls befindet.

Antennenerhöhung des Radars Türkheim

Eine Erhöhung der Radarantennenposition ist hier nicht erforderlich, um die Zulassung weiterer WEA dieser Gesamthöhe in diesem Gebiet ermöglichen.

Beeinträchtigter Bereich um die WEA-Standorte (Störvolumen, „Impact-Zone“)

Da sich die geplanten WEAs vollständig unterhalb des untersten Antennenstrahls befinden, ist kein Störgebiet nach Kapitel 4.4 gegeben.

Es sind somit keine radarrelevanten Störeinflüsse durch die Neuplanung zu erwarten.

5.4. Untersuchung der Erweiterung von bestehenden WEA-Gruppen

Die nachstehende Abbildung zeigt auf der Gesamtübersicht zwei beispielhafte bestehende Windparks innerhalb von WEA-Vorranggebieten, welche jeweils um drei WEAs erweitert werden sollen. Es wurden ein kleiner zu erweiternder Bestandwindpark und ein großer Bestandwindpark gewählt.

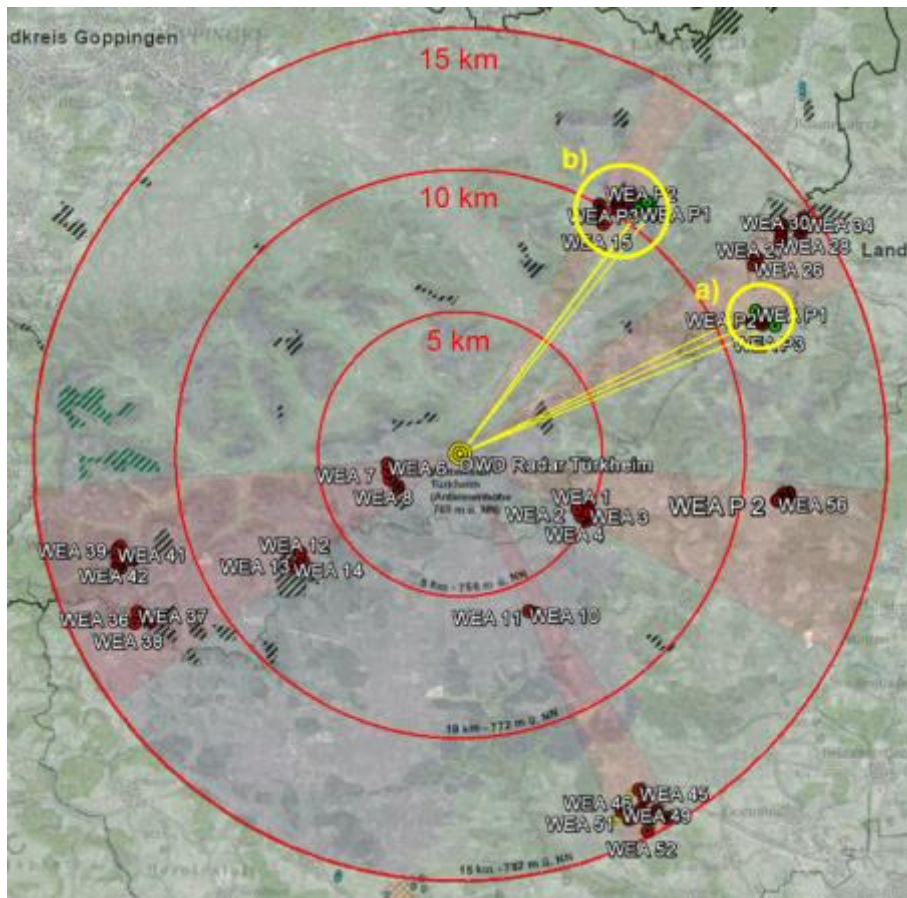


Abbildung 50: Gesamtübersicht – 2 Windparkerweiterungen als Untersuchungsbeispiele [10]

a) Erweiterung einer kleinen WEA-Gruppe

- Anzahl der WEAs: 2 (+3)
- Entfernung zum Radar: ca. 11,6 km

b) Erweiterung einer großen WEA-Gruppe

- Anzahl der WEAs: 9 (+3)
- Entfernung zum Radar: ca. 11,5 km

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

5.4.1. Erweiterung einer kleinen WEA-Gruppe

Die untersuchte neugeplante WEA-Gruppe befindet sich ca. 11,6 km nordöstlich des Radarstandortes Türkheim. Die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen WEA-Daten wurden für die Neuplanung angenommen.

	Nabenhöhe	Rotordurchmesser	Gesamthöhe
WEA 24	80 m	62 m	111 m
WEA 25	80 m	62 m	111 m
WEA P1	110 m	100 m	160 m
WEA P2	110 m	100 m	160 m
WEA P3	110 m	100 m	160 m

Tabelle 6: WEA-Daten

Die Standorte der bestehenden WEAs sind in der nachfolgenden Abbildung rot, die der geplanten WEAs grün gekennzeichnet, und die Einstrahlrichtungen des Wetterradars Türkheim sind gelb dargestellt.



Abbildung 51: Bezug zwischen dem Radarstandort und dem Standort der WEAs. Die Distanzkreise von 5 km, 10 km und 15 km sind zusätzlich gekennzeichnet. [10]

Die in der folgenden Abbildung 52 dargestellten Richtungsbezüge befinden sich auf Höhe der Radarantenne der Anlage Türkheim (765 müNN), was einem Einstrahlwinkel von 0° entspricht (Unterkante des Radarstrahls bei $0,5^\circ$ Elevation). Die WEAs erreichen eine Gesamthöhe (bis Rotorblattspitze) von bis zu 826 müNN.

Bei einem Einstrahlwinkel von $0,5^\circ$ Elevation relativ zum Radar (siehe Richtungsbezüge) befindet sich der obere Bereich des WEA-Rotors oberhalb der Unterkante des Radarstrahls. Von den bereits bestehenden WEAs wird aufgrund der geringeren WEA-Höhe ausschließlich der obere Teil des Rotorbereichs vom Radar erfasst. Von den neu geplanten WEAs wird der Großteil des Rotors sowie der obere Bereich der Standsäulen durch das Radar erfasst.

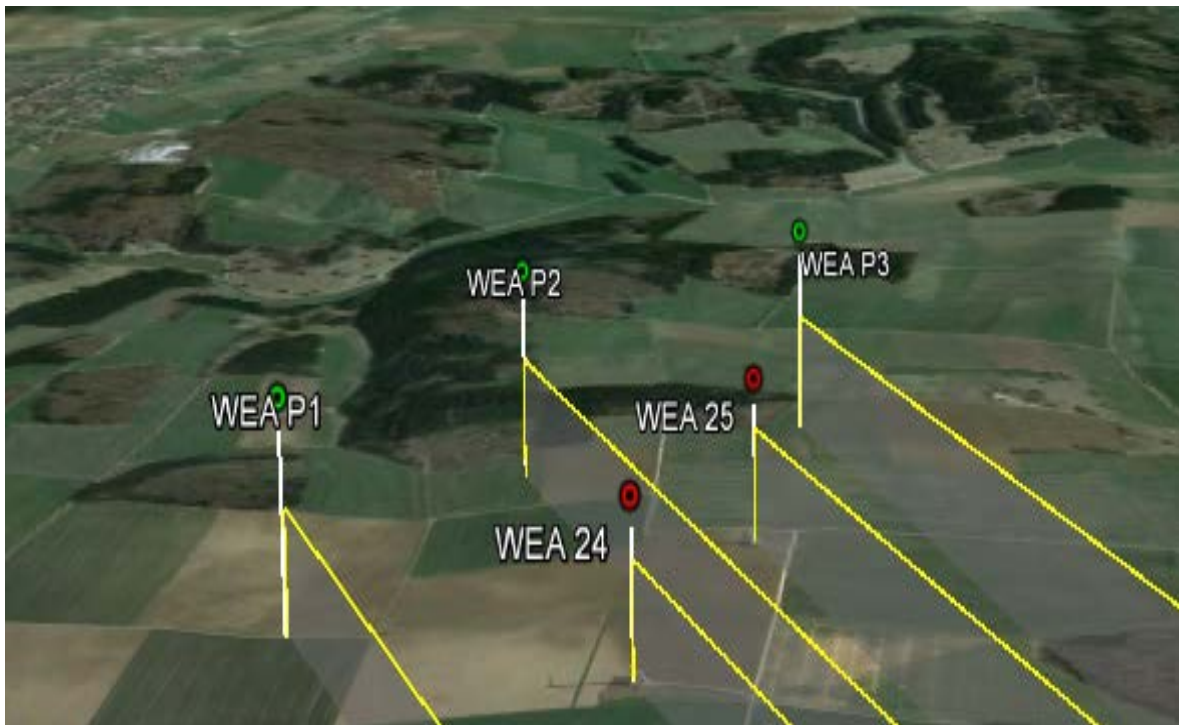


Abbildung 52: Übersicht über die Richtungsbezüge des WEA-Standes zum Radarstandort Türkheim unter Berücksichtigung der Topografie. [10]

Antennenhöhe: 765 müNN

WEA-Höhe: bis zu ca. 826 müNN

Bewertung:

Verschattung (Strahlblockierung) durch die WEAs

Von den zwei Bestandsanlagen waren bisher keine praxisrelevanten Verschattungseffekte zu erwarten, da sich die statischen Anteile der WEAs vollständig unterhalb des Antennenstrahls befinden. Unter Berücksichtigung der Nabenhöhe sowie der Topografie generieren alle drei geplanten WEAs aufgrund der Höhenposition des Standortes gegenüber der Höhenposition der Radaranlage eine Verschattung durch die statischen WEA-Anteile, da die oberen Teile der Standsäulen in den Radarstrahl hineinragen.

Antennenerhöhung des Radars Türkheim

Eine Erhöhung der Radarantennenposition um mindestens 51 m wird mit Verweis auf die bisherige Schutzzonendefinition diese lokale Situation formal lösen können und die Zulassung weiterer WEA dieser Gesamthöhe in diesem Gebiet ermöglichen.

Beeinträchtiger Bereich um die WEA-Standorte (Störvolumen, „Impact-Zone“)

Aufgrund des Rotors der WEAs, welcher durch das Radar erfasst wird, ist ein Störgebiet nach Kapitel 4.4 gegeben.

Das bisherige Störvolumen besteht aus zwei sich überlagernden Zellen mit einer Größe von jeweils 2° tangential und 500 m radial relativ zum Radarstandort, welches nun um drei weitere Gebietszellen selbiger Ausmaße erweitert wird. Die Höhe des Störvolumens ist mit der jeweiligen WEA-Gesamthöhe gleichgesetzt worden.

Die Abbildung 53 zeigt eine perspektivische Ansicht des Störvolumens (Bestand: rot; Planung: grün).

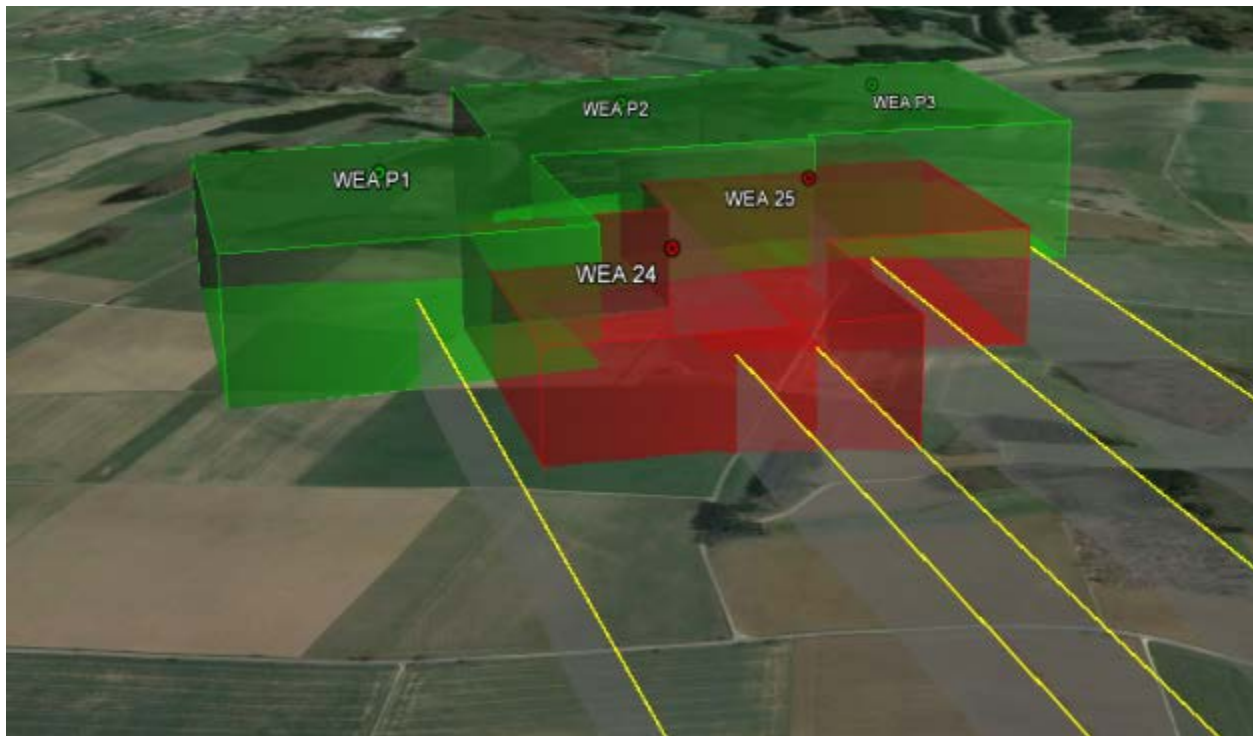


Abbildung 53: Perspektivische Darstellung des Störvolumens [10]

Abbildung 54 zeigt das betroffene Gebiet in der Draufsicht.



Abbildung 54: Störgebiet in der Draufsicht [10]

Tangential zur Einstrahlrichtung des DWD-Radars Türkheim wird das bereits bestehende Störgebiet (Impact-Zone) des Wetterradars durch die geplanten WEAs von ca. 657 m auf ca. 1190 m erweitert.

Die radiale Ausdehnung des Störzonengebietes bzgl. des Radarstandortes Türkheim wird durch die geplanten WEAs von ca. 807 m auf ca. 1185 m erweitert.

Die wirksame Höhe der Störzone kann nunmehr mit bis zu ca. 160 m über Grund bzw. bis zu ca. 826 m über NN angegeben werden.

Maßnahmen zur Minderung der WEA-Einflüsse dieser Gruppierung:

Der Rotorkreis der WEA wird aufgrund der Höhe vom Precipitationscan bei einem angenommenen Elevationswinkel von $0,5^\circ$ des Radars Türkheim vollständig erfasst.

- Eine Lösung der formalen Problematik bzgl. der Schutzzone durch eine Nabenhöhenminderung ist nicht möglich.
- Eine Alternative wäre in diesem Fall dadurch gegeben, dass die räumliche Anordnung der geplanten zwei WEA dahin gehend geändert wird, dass diese WEA eine räumliche Separation zu den Bestandanlagen zeigen, um eine große geschlossene Störzone zu vermeiden.
- Zugleich sollten für die WEA 2 und 3 gemäß Abbildung 59 gleiche Abstände zum Radar vermieden werden, um eine Überlagerung bei der Erfassung durch Nebenkeulen zu vermeiden.

5.4.2. Erweiterung einer großen WEA-Gruppe

Die untersuchte neugeplante WEA-Gruppe befindet sich ca. 11,5 km nordöstlich des Radarstandortes Türkheim. Die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen WEA-Daten wurden für die Neuplanung angenommen.

	Nabenhöhe	Rotordurchmesser	Gesamthöhe
WEA 15	105 m	90 m	150 m
WEA 16	105 m	92 m	151 m
WEA 17	100 m	100 m	150 m
WEA 18	74 m	52 m	100 m
WEA 19	74 m	52 m	100 m
WEA 20	74 m	52 m	100 m
WEA 21	74 m	52 m	100 m
WEA 22	50 m	44 m	72 m
WEA 23	74 m	52 m	100 m
WEA P1	110 m	100 m	160 m
WEA P2	110 m	100 m	160 m
WEA P3	110 m	100 m	160 m

Tabelle 7: WEA-Daten

Die Standorte der bestehenden WEAs sind in der nachfolgenden Abbildung rot, die der geplanten WEAs grün gekennzeichnet, und die Einstrahlrichtungen des Wetterradars Türkheim sind gelb dargestellt.



Abbildung 55: Bezug zwischen dem Radarstandort und dem Standort der WEAs. Die Distanzkreise von 5 km und 10 km sind zusätzlich gekennzeichnet. [10]

Die in der folgenden Abbildung 56 dargestellten Richtungsbezüge befinden sich auf Höhe der Radarantenne der Anlage Türkheim (765 müNN), was einem Einstrahlwinkel von 0° entspricht (Unterkante des Radarstrahls bei $0,5^\circ$ Elevation). Die WEAs erreichen eine Gesamthöhe (bis Rotorblattspitze) von bis zu 885 müNN.

Bei einem Einstrahlwinkel von $0,5^\circ$ Elevation relativ zum Radar (siehe Richtungsbezüge) befindet sich der obere Bereich der WEAs oberhalb der Unterkante des Radarstrahls. Von den neugeplanten WEAs wird der Großteil des Rotors sowie der obere Bereich der Standsäulen durch das Radar erfasst.

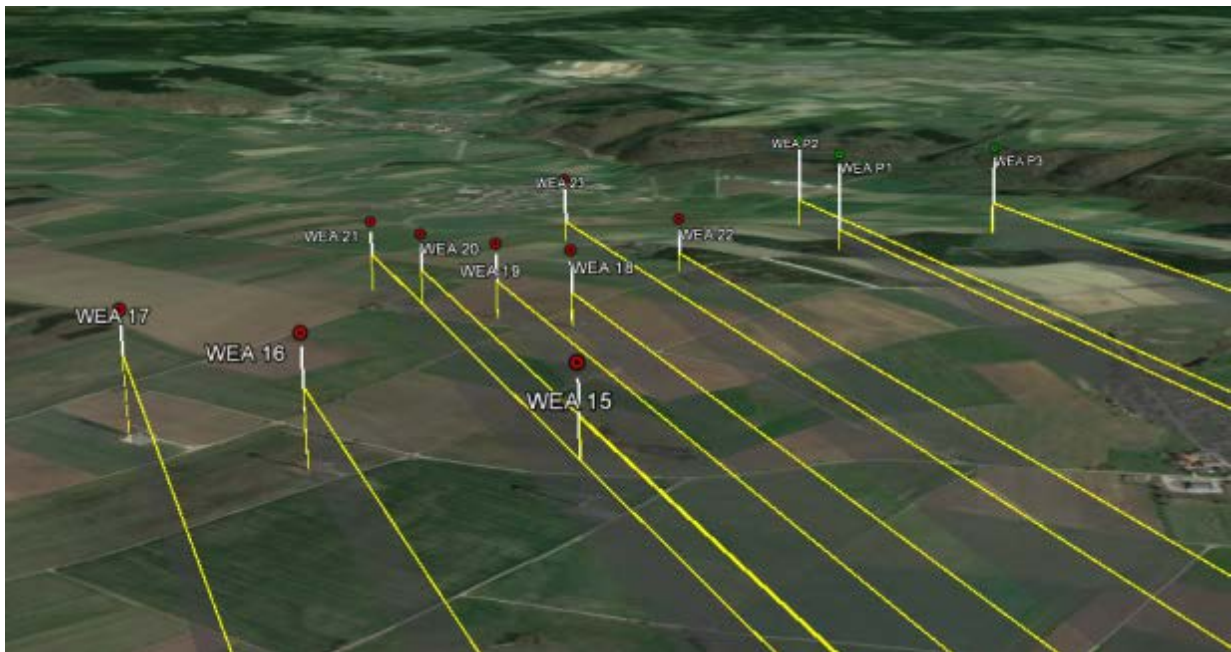


Abbildung 56: Übersicht über die Richtungsbezüge des WEA-Standortes zum Radarstandort Türkheim unter Berücksichtigung der Topografie. [10]

Antennenhöhe: 765 müNN

WEA-Höhe: bis zu ca. 885 müNN

Bewertung:

Verschattung (Strahlblockierung) durch die WEAs

Unter Berücksichtigung der Nabenhöhe sowie der Topografie generieren die Bestandsanlagen bereits aufgrund der Höhenposition des Standortes gegenüber der Höhenposition der Radaranlage eine Verschattung durch die statischen WEA-Anteile. Dies betrifft ausschließlich die drei WEA-Standorte WEA 15 bis WEA 17, welche eine Nabenhöhe von 105 m bzw. 100 m aufweisen. Die WEA-Standorte WEA 18 bis WEA 23 generieren keine Verschattung, da durch den Anteil des Rotors, welcher durch das Radar erfasst wird, kein praxisrelevanter Verschattungseffekt gegeben ist. Die Standsäulen der drei neu geplanten WEAs werden ebenfalls durch das Radar erfasst, somit nimmt durch die Erweiterung die Verschattung jenseits der WEA-Standorte zu.

Antennenerhöhung des Radars Türkheim

Eine Erhöhung der Radarantennenposition um mindestens 110 m wird mit Verweis auf die bisherige Schutzzonendefinition diese lokale Situation formal lösen können und die Zulassung weiterer WEA dieser Gesamthöhe in diesem Gebiet ermöglichen.

Beeinträchtiger Bereich um die WEA-Standorte (Störvolumen, „Impact-Zone“)

Aufgrund des Rotors der WEAs, welcher durch das Radar erfasst wird, ist ein Störgebiet nach Kapitel 4.4 gegeben.

Das bisherige Störvolumen besteht aus 9 sich überlagernden Zellen mit einer Größe von jeweils 2° tangential und 500 m radial relativ zum Radarstandort, welches nun um drei weitere Gebietszellen selbiger Ausmaße erweitert wird. Die Höhe des Störvolumens ist mit der jeweiligen WEA-Gesamthöhe gleichgesetzt worden.

Die Abbildung 57 zeigt eine perspektivische Ansicht des Störvolumens (Bestand: rot; Planung: grün).

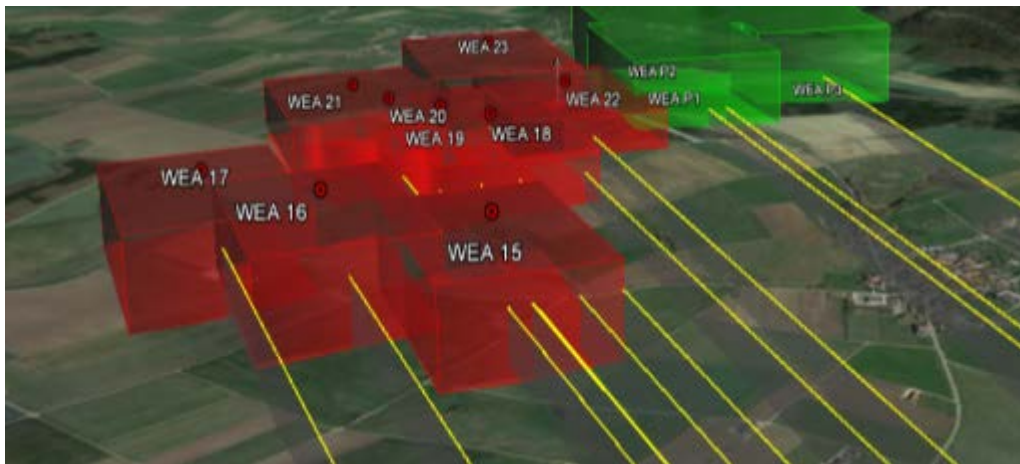


Abbildung 57: Perspektivische Darstellung des Störvolumens [10]

Abbildung 58 zeigt das betroffene Gebiet in der Draufsicht.



Abbildung 58: Störgebiet in der Draufsicht [10]

Tangential zur Einstrahlrichtung des DWD-Radars Türkheim wird das bereits bestehende Störgebiet (Impact-Zone) des Wetterradars durch die geplanten WEAs von ca. 1271 m auf ca. 1308 m erweitert.

Die radiale Ausdehnung des Störzonengebietes bzgl. des Radarstandortes Türkheim wird durch die geplanten WEAs von ca. 1860 m auf ca. 2628 m erweitert.

Die wirksame Höhe der Störzone kann nunmehr mit bis zu ca. 160 m über Grund bzw. bis zu ca. 885 m über NN angegeben werden.

Maßnahmen zur Minderung der WEA-Einflüsse dieser Gruppierung:

Der Rotorkreis der WEA wird aufgrund der Höhe vom Precipitationscan bei einem angenommenen Elevationswinkel von $0,5^\circ$ des Radars Türkheim vollständig erfasst.

- Eine Lösung der formalen Problematik bzgl. der Schutzzone durch eine Nabenhöhenminderung ist nicht möglich.
- Eine Alternative wäre in diesem Fall dadurch gegeben, dass die räumliche Anordnung der geplanten drei WEA dahin gehend geändert wird, dass diese WEA eine bzgl. des Radarstandortes räumliche seitliche Separation zu den Bestanlagen zeigen, um eine große geschlossene Störzone zu vermeiden.

5.5. Beispiele verschiedener WEA-Anordnungen

Die nachstehende Abbildung zeigt auf der Gesamtübersicht zwei beispielhafte Windpark Neuplanungen unterschiedlicher Anordnung innerhalb eines WEA-Vorranggebietes.

Es wird eine neu geplante WEA-Gruppe, welche radial zum Wetterradarstandort ausgerichtet ist, mit einer geplanten WEA-Gruppe, welche tangential zum Radar ausgerichtet ist, verglichen.

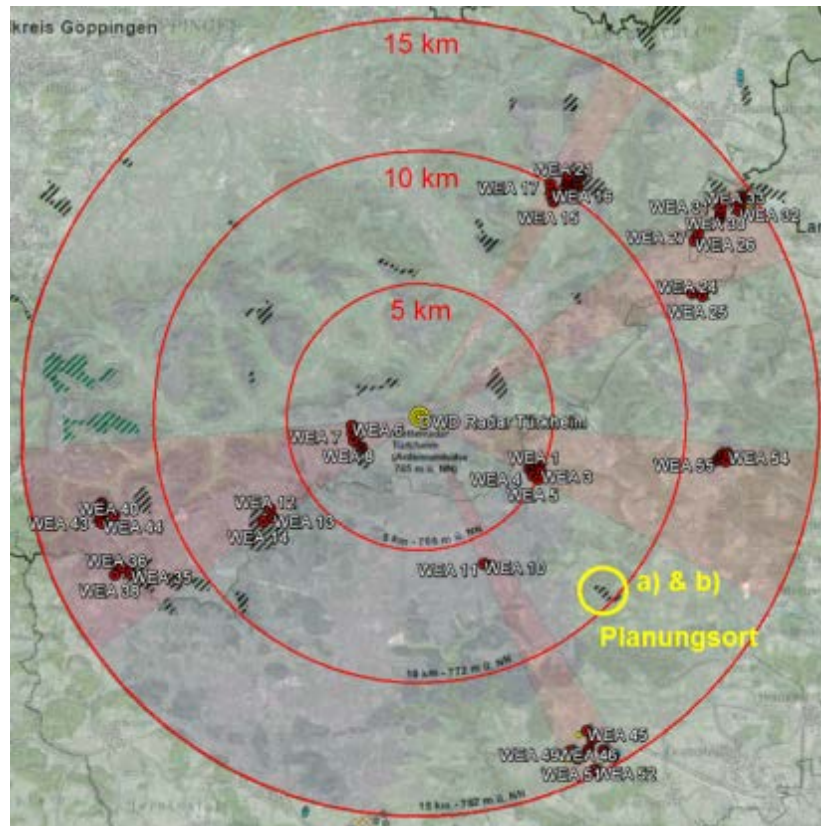


Abbildung 59: Gesamtübersicht – 2 Neuplanungen als Untersuchungsbeispiele [10]

a) WEA-Gruppe radial zum Wetterradar angeordnet

- Anzahl der WEAs: 4
- Entfernung zum Radar: ca. 9,8 km

b) WEA-Gruppe tangential zum Wetterradar angeordnet

- Anzahl der WEAs: 4
- Entfernung zum Radar: ca. 9,8 km

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

5.5.1. Radiale WEA-Anordnung

Die untersuchte neugeplante WEA-Gruppe mit radialer Ausrichtung zum Radar befindet sich ca. 9,8 km südöstlich des Radarstandortes Türkheim. Die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen WEA-Daten wurden für die Neuplanung angenommen.

	Nabenhöhe	Rotordurchmesser	Gesamthöhe
WEA 1	110 m	100 m	160 m
WEA 2	110 m	100 m	160 m
WEA 3	110 m	100 m	160 m
WEA 4	110 m	100 m	160 m

Tabelle 8: WEA-Daten

Die Standorte der WEAs sind in der nachfolgenden Abbildung grün gekennzeichnet, und die Einstrahlrichtungen des Wetterradares Türkheim sind gelb dargestellt.



Abbildung 60: Bezug zwischen dem Radarstandort und dem Standort der WEAs. Die Distanzkreise von 5 km und 10 km sind zusätzlich gekennzeichnet. [10]

Die in der folgenden Abbildung 61 dargestellten Richtungsbezüge befinden sich auf Höhe der Radarantenne der Anlage Türkheim (765 müNN), was einem Einstrahlwinkel von 0° entspricht (Unterkante des Radarstrahls bei $0,5^\circ$ Elevation). Die WEAs erreichen eine Gesamthöhe (bis Rotorblattspitze) von bis zu 840 müNN.

Bei einem Einstrahlwinkel von $0,5^\circ$ Elevation relativ zum Radar (siehe Richtungsbezüge) befindet sich nahezu der obere Teil der WEA oberhalb der Unterkante des Radarstrahls. Es wird ein Großteil des WEA-Rotors sowie der obere Teil der Standsäule durch das Radar erfasst.

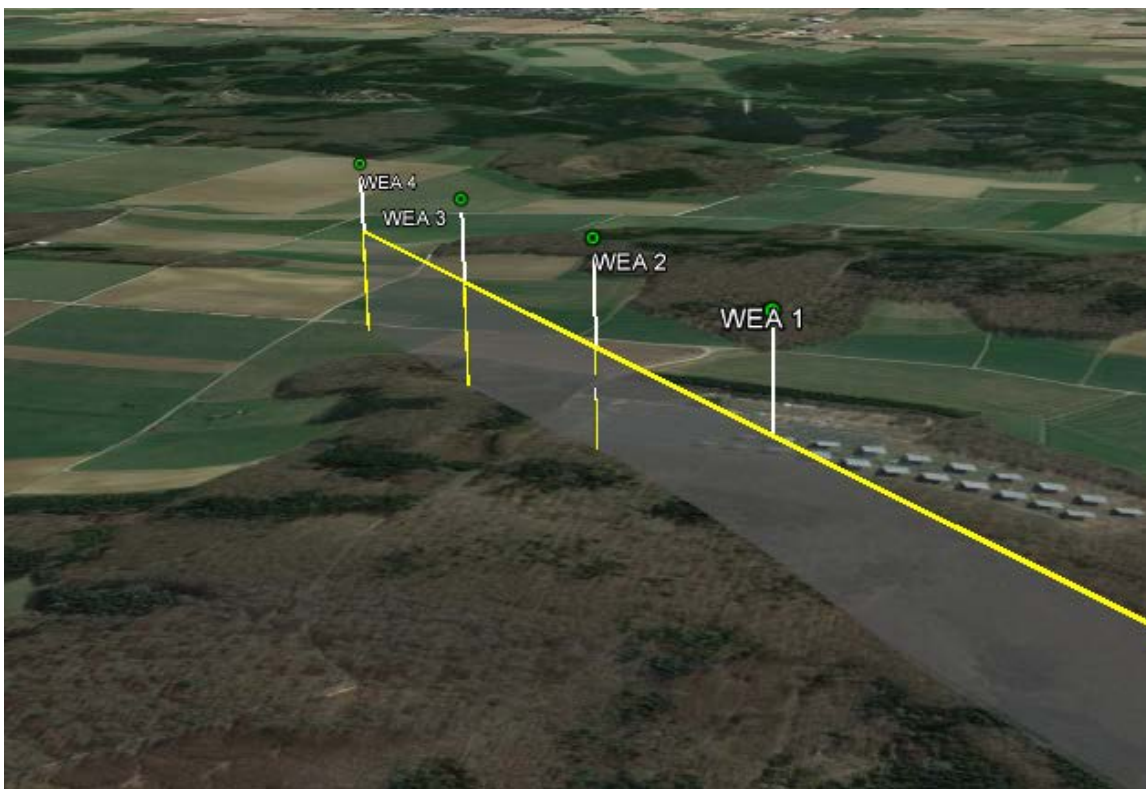


Abbildung 61: Übersicht über die Richtungsbezüge des WEA-Standortes zum Radarstandort Türkheim unter Berücksichtigung der Topografie. [10]

Antennenhöhe: 765 müNN

WEA-Höhe: ca. 840 müNN

Bewertung:

Verschattung (Strahlblockierung) durch die WEAs

Unter Berücksichtigung der Nabenhöhe sowie der Topografie generieren alle geplanten WEAs aufgrund der Höhenposition des Standortes gegenüber der Höhenposition der Radaranlage eine Verschattung durch die statischen WEA-Anteile, da der obere Teil der Standsäule der WEAs in den Radarstrahl hineinragt. Bei der radialen Anordnung ist die Breite des Verschattungskorridors im Gegensatz zur tangentialen Anordnung geringer, die Intensität ist in dem schmalen Richtungskeil jenseits der WEAs hingegen erhöht.

Antennenerhöhung des Radars Türkheim

Eine Erhöhung der Radarantennenposition um mindestens 67 m wird mit Verweis auf die bisherige Schutzzonendefinition diese lokale Situation formal lösen können und die Zulassung weiterer WEA dieser Gesamthöhe in diesem Gebiet ermöglichen.

Beeinträchtigter Bereich um die WEA-Standorte (Störvolumen, „Impact-Zone“)

Aufgrund des Rotors der WEAs, welcher durch das Radar erfasst wird, ist ein Störgebiet nach Kapitel 4.4 gegeben.

Das Störvolumen besteht aus vier radial angeordneten, sich überlagernden Zellen mit einer Größe von jeweils 2° tangential und 500 m radial relativ zum Radarstandort. Die Höhe des Störvolumens ist mit der jeweiligen WEA-Gesamthöhe gleichgesetzt worden.

Die Abbildung 62 zeigt eine perspektivische Ansicht des Störvolumens.



Abbildung 62: Perspektivische Darstellung des Störvolumens [10]

Abbildung 47 zeigt das betroffene Gebiet in der Draufsicht.



Abbildung 63: Störgebiet in der Draufsicht [10]

Tangential zur Einstrahlrichtung des DWD-Radars Türkheim ist eine durch die WEAs generierte Störzone (Impact-Zone) des Wetterradars von insgesamt bis zu ca. 352 m festzustellen.

Die radiale Ausdehnung des Störzonengebietes bzgl. des Radarstandortes Türkheim durch die WEAs kann mit bis zu ca. 1400 m angegeben werden.

Die wirksame Höhe der Störzone kann mit bis zu ca. 160 m über Grund bzw. bis zu ca. 840 m über NN angegeben werden.

Maßnahmen zur Minderung der WEA-Einflüsse dieser Gruppierung:

Der Rotorkreis der WEA wird aufgrund der Höhe vom Precipitationscan bei einem angenommenen Elevationswinkel von $0,5^\circ$ des Radars Türkheim vollständig erfasst.

- Eine Lösung der formalen Problematik bzgl. der Schutzzone durch eine Nabenhöhenminderung ist nicht möglich.
- Die Anordnung stellt eine radartechnisch sehr günstige linienartige Anordnung dar, da die Störzonen der einzelnen WEA sich in einer schmalen Zone anordnen, die die zeitliche Verfolgung von sich räumlich fortbewegenden Wetterphänomene nur sehr kurzzeitig beeinträchtigen kann.

5.5.2. Tangentiale WEA-Anordnung

Die untersuchte neugeplante WEA-Gruppe mit tangentialer Ausrichtung zum Radar befindet sich ca. 9,8 km südöstlich des Radarstandortes Türkheim. Die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen WEA-Daten wurden für die Neuplanung angenommen.

	Nabenhöhe	Rotordurchmesser	Gesamthöhe
WEA 1	110 m	100 m	160 m
WEA 2	110 m	100 m	160 m
WEA 3	110 m	100 m	160 m
WEA 4	110 m	100 m	160 m

Tabelle 9: WEA-Daten

Die Standorte der WEAs sind in der nachfolgenden Abbildung grün gekennzeichnet, und die Einstrahlrichtungen des Wetterradars Türkheim sind gelb dargestellt.

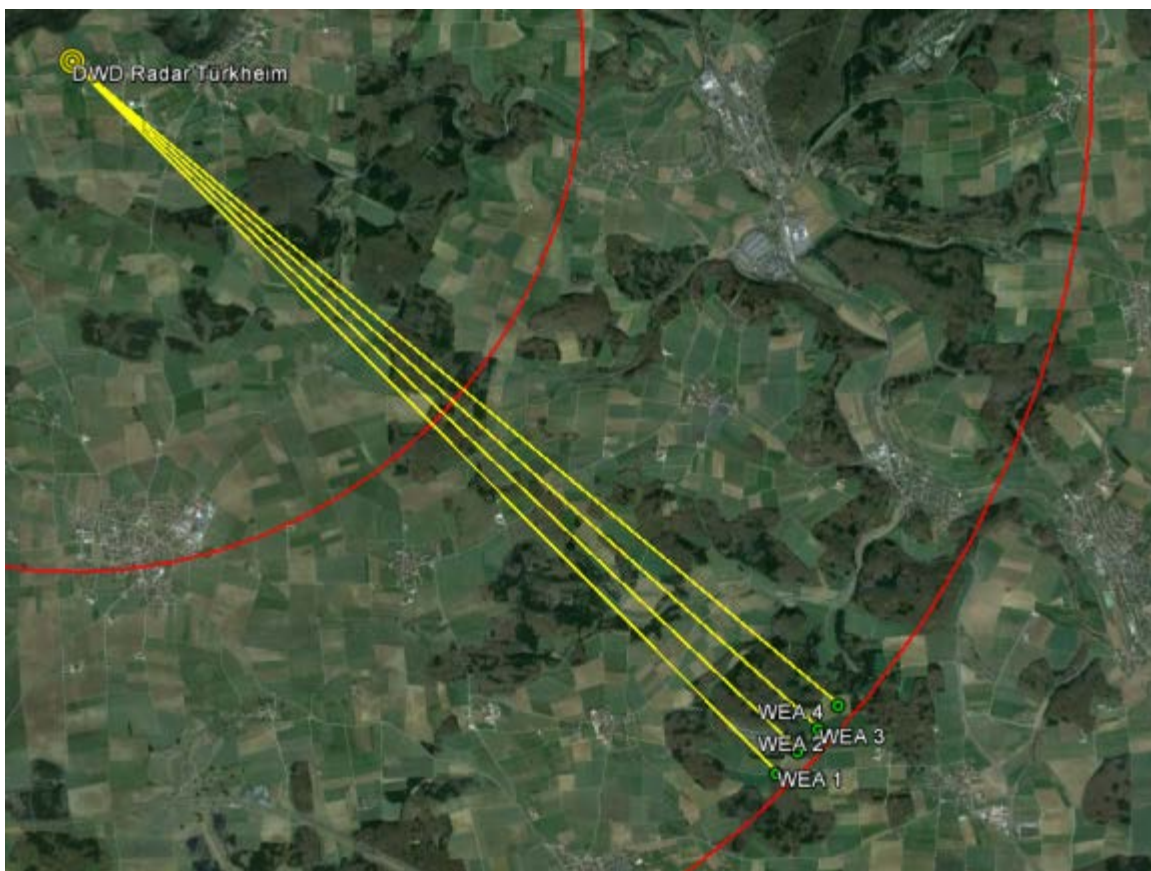


Abbildung 64: Bezug zwischen dem Radarstandort und dem Standort der WEAs. Die Distanzkreise von 5 km und 10 km sind zusätzlich gekennzeichnet. [10]

Die in der folgenden Abbildung 65 dargestellten Richtungsbezüge befinden sich auf Höhe der Radarantenne der Anlage Türkheim (765 müNN), was einem Einstrahlwinkel von 0° entspricht (Unterkante des Radarstrahls bei $0,5^\circ$ Elevation). Die WEAs erreichen eine Gesamthöhe (bis Rotorblattspitze) von bis zu 828 müNN.

Bei einem Einstrahlwinkel von $0,5^\circ$ Elevation relativ zum Radar (siehe Richtungsbezüge) befindet sich nahezu der obere Teil der WEA oberhalb der Unterkante des Radarstrahls. Es wird ein Großteil des WEA-Rotors sowie der obere Teil der Standsäule durch das Radar erfasst.



Abbildung 65: Übersicht über die Richtungsbezüge des WEA-Standortes zum Radarstandort Türkheim unter Berücksichtigung der Topografie. [10]

Antennenhöhe: 765 müNN

WEA-Höhe: ca. 828 müNN

Bewertung:

Verschattung (Strahlblockierung) durch die WEAs

Unter Berücksichtigung der Nabenhöhe sowie der Topografie generieren alle geplanten WEAs aufgrund der Höhenposition des Standortes gegenüber der Höhenposition der Radaranlage eine Verschattung durch die statischen WEA-Anteile, da der obere Teil der Standsäule der WEAs in den Radarstrahl hineinragt. Bei der tangentialen Anordnung ist die Breite des Verschattungskorridors im Gegensatz zur radialen Anordnung größer, die Intensität ist hingegen geringer und verteilt sich über einen breiteren Korridor.

Antennenerhöhung des Radars Türkheim

Eine Erhöhung der Radarantennenposition um mindestens 55 m wird mit Verweis auf die bisherige Schutzzonendefinition diese lokale Situation formal lösen können und die Zulassung weiterer WEA dieser Gesamthöhe in diesem Gebiet ermöglichen.

Beeinträchtigter Bereich um die WEA-Standorte (Störvolumen, „Impact-Zone“)

Aufgrund des Rotors der WEAs, welcher durch das Radar erfasst wird, ist ein Störgebiet nach Kapitel 4.4 gegeben.

Das Störvolumen besteht aus vier tangential angeordneten, sich überlagernden Zellen mit einer Größe von jeweils 2° tangential und 500 m radial relativ zum Radarstandort. Die Höhe des Störvolumens ist mit der jeweiligen WEA-Gesamthöhe gleichgesetzt worden.

Die Abbildung 66 zeigt eine perspektivische Ansicht des Störvolumens.

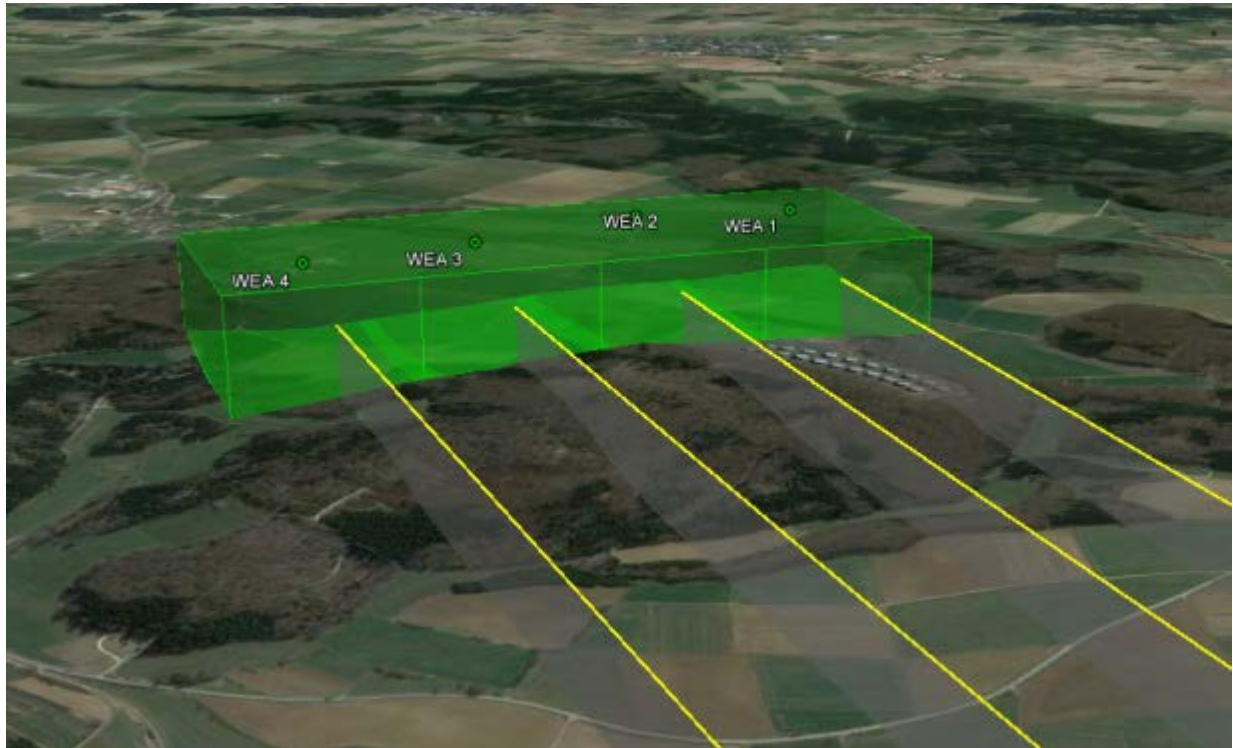


Abbildung 66: Perspektivische Darstellung des Störvolumens [10]

Abbildung 67 zeigt das betroffene Gebiet in der Draufsicht.



Abbildung 67: Störgebiet in der Draufsicht [10]

Tangential zur Einstrahlrichtung des DWD-Radars Türkheim ist eine durch die WEAs generierte Störzone (Impact-Zone) des Wetterradars von insgesamt bis zu ca. 1260 m festzustellen.

Die radiale Ausdehnung des Störzonengebietes bzgl. des Radarstandortes Türkheim durch die WEAs kann mit bis zu ca. 500 m angegeben werden.

Die wirksame Höhe der Störzone kann mit bis zu ca. 160 m über Grund bzw. bis zu ca. 828 m über NN angegeben werden.

Maßnahmen zur Minderung der WEA-Einflüsse dieser Gruppierung:

Der Rotorkreis der WEA wird aufgrund der Höhe vom Precipitationscan bei einem angenommenen Elevationswinkel von $0,5^\circ$ des Radars Türkheim vollständig erfasst.

- Eine Lösung der formalen Problematik bzgl. der Schutzzone durch eine Nabenhöhenminderung ist nicht möglich.
- Die Anordnung stellt eine radartechnisch ebenfalls sehr günstige azimutale linienartige Anordnung dar, da die Störzonen der einzelnen WEA sich in einer schmalen Zone anordnen, die die zeitliche Verfolgung von sich räumlich fortbewegenden Wetterphänomenen nur sehr kurzzeitig beeinträchtigen kann. Zu vermeiden sind in diesem Zusammenhang jedoch gemäß Abbildung 72 gleiche Abstände zum Radar, um eine Überlagerung bei der Erfassung durch Nebenkeulen zu vermeiden.

Anhang A: Abkürzungen

CATIA	=	Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application
GND	=	Geländehöhe
MoM	=	Momentenmethode ; Analyseverfahren zur Hochfrequenzausbreitung
NH	=	Nabenhöhe
RCS	=	Radar-Cross-Section (RQS =Radarquerschnitt)
Reflektivität	=	Maß für den Rückstreuquerschnitt von Zielen (z. B. Niederschlag)
Reichweiten- minderung	=	Maß für die Beschränkung/Minderung der radarwirksamen Einsehbarkeit in definierte Luftraumsektionen. Die ideale Betriebsbedingung liegt vor für einen Wert von 100 %.
UTD	=	Uniform Theorie of Diffraction: Analyseverfahren zur Hochfrequenzausbreitung
WEA	=	Windenergieanlage
WEAs	=	Windenergieanlagen

Anhang B: Technische Daten des Wetterraders Türkheim

Technische Daten des Wetterradersystems:

System	DWSR-5001C
Operating Frequency	5400-5900 MHz
Pulse Width	0.2 – 3.0 µsec
Range Resolution @ PW	as low as 30m
Pulse Repetition Frequency	200-240 Hz, user selectable
Typical Operational Range	240 km
Sensitivity – Reflectivity	as low as -4.0 dBz
Sensitivity – Rain Rate	as low as 0.01 mm/h
Clutter Suppression Capability	≥ 46 dB
Data Output	UZ, Z, V, SW, ϕDP, KDP, ZDR, ρHV
Antenna /Pedestal	
Type	Parabolic, Prime Focus Reflector
Reflector Diameter	4.2m (typical)
Gain – minimum	> 45.0 dB
Half Power Beam Width (typical)	0.95°
Polarization	Linear Horizontal / Vertical Orthogonal Feed Horn
Angle Span (Azimuth)	0 to 360° continuous
Angle Span (Elevation)	-2 to +90°
Angular Positioning Accuracy	± 0.1°
Radome	
Size	5.5 m (typical)
Type	Sandwich Foam Core Stealth Radome
Transmission Loss (one way)	< 2.0 dB
Transmitter	
Type	High-Power Coaxial Magnetron
Peak Power	500 kW typical (250 kW per channel)
Receiver	
Type	Superheterodyne, Single Down Conversion with Image Reject Mixing
Minimum Discernable Signal	as low as -114 dBm
Noise Figure	< 2.5 dB
Linear Dynamic Range	up to 105 dB

[3]

Anhang C: Vergleich zwischen Radarquerschnitt und Reflektivität

Im Folgenden werden von Wetterradar Boostedt gemessene dBz-Werte von Volumenelementen, in denen sich Windenergieanlagen befinden, simulierten RQS-Werten dieser Windenergieanlagen gegenübergestellt, um eine erste Aussage zur Korrelation zwischen diesen Größen zu ermöglichen. Dies geschieht auf Grundlage von ersten Messergebnissen des DWD aufgrund des Precipitationscans sowie anhand von computergestützten Radarquerschnittssimulationen auf Grundlage von 3D-CAD Nachbildungen der Windenergieanlagen. Die Reflektivitäten von Komponenten dieser WEA, u. a. von Rotorblättern, die sich auf dieser Grundlage ergeben, sind auf der Grundlage von Komponentenmessungen bei anderen Radarbetriebsfrequenzen messtechnisch verifiziert worden.

Die folgende Abbildung zeigt ausschließlich die Einflüsse durch Windenergieanlagen (WEA), da zum Zeitpunkt der Messung keine messbaren Wetterphänomene im örtlichen Bereich des Windparks vorlagen, d. h. insbesondere kein Niederschlag.

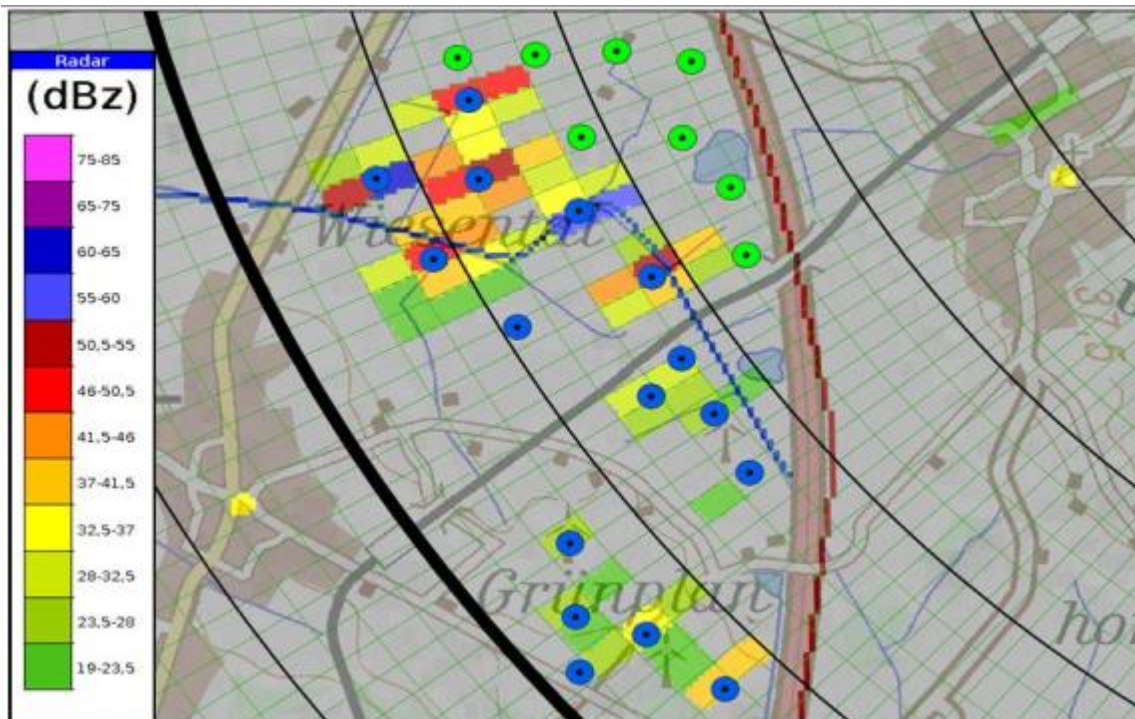


Abbildung 68: Messergebnis – DWD Radar Boostedt (blau: WEA-Standorte; grün: geplante WEA-Standorte), Quelle: DWD [28]

a. Ermittlung des Radarquerschnitts

Für eine WEA erfolgt die Berechnung des RQS auf der Grundlage einer computergestützten 3D-CAD Nachbildung gemäß beigestellter Konstruktionsunterlagen des WEA-Herstellers. Die nachstehende Abbildung zeigt die nachgebildete CAD-Objektstruktur der Nordex N100:



Abbildung 69: N100: Rotoransicht bei 45° Winkel zwischen Rotorachse und Bezugsrichtung zum Radar
Dabei wird die Oberfläche der Objektstruktur durch eine ausreichend große Anzahl ebener Dreieckflächenelemente nachgebildet – „trianguliert“. Es liegt eine hoch feine Abtastung vor, die für die Dopplerberechnungen benötigt wird. Zur Angabe von RQS-Werten die messtechnisch zugänglich sind, wird zur Bewertung der RQS-Medianwert über ein Winkelintervall von 2° festgelegt, vgl. die nachstehenden Abbildungen zum RQS_{dyn} . Die Werte aus diesem Bereich sind durch die blaue Linie gekennzeichnet und werden nachfolgend zur Beurteilung herangezogen. Es liegen Ergebnisse zu dieser Windenergieanlage vor für die nachstehenden Randbedingungen:

- Zeitvarianter Radarquerschnitt für alle Rotororientierungen in 5°-Schritten
- Zeitvarianter Radarquerschnitt unter der Annahme einer Teilverschattung
 - Ergebnisse für 100 % Erfassung des Rotors
 - Ergebnisse für 70 % Erfassung des Rotors
 - Ergebnisse für 50 % Erfassung des Rotors
 - Ergebnisse für 30 % Erfassung des Rotors

a.1. RQS-Analyse bei Teilerfassung des Rotors am Beispiel einer N100

Nachfolgend die RQS-Analyse der Nordex N100 bei teilweiser Erfassung des oberen Teils des Rotors von 30 %. Die rote Linie in der folgenden Abbildung links stellt dabei die Unterkante des idealisierten Radarstrahls dar und soll zeigen, welcher Teil des Rotors erfasst wird.

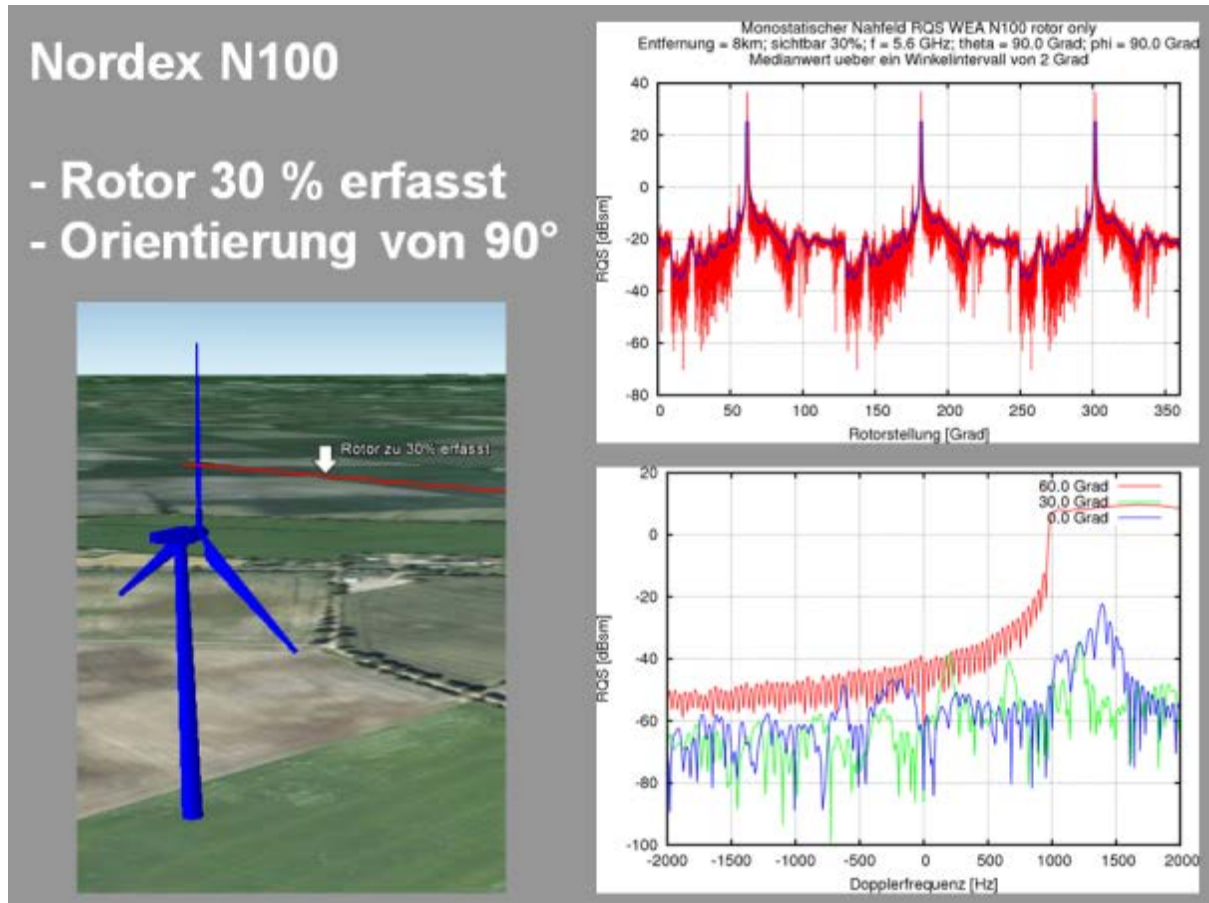


Abbildung 70: RQS und Dopplerspektrum einer Nordex N100 bei teilweiser Erfassung des Rotors von 30 % [10]

Minimalwert des RQS (Median-Kurve)	Maximalwert des RQS (Median-Kurve)	Mittelwert des RQS (Median-Kurve)
-35,67 dBsm	25,09 dBsm	7,35 dBsm

Nachfolgend die RQS-Analyse der Nordex N100 bei teilweiser Erfassung des oberen Teils des Rotors von 50 %. Die rote Linie in der folgenden Abbildung links stellt dabei die Unterkante des idealisierten Radarstrahls dar und soll zeigen, welcher Teil des Rotors erfasst wird.

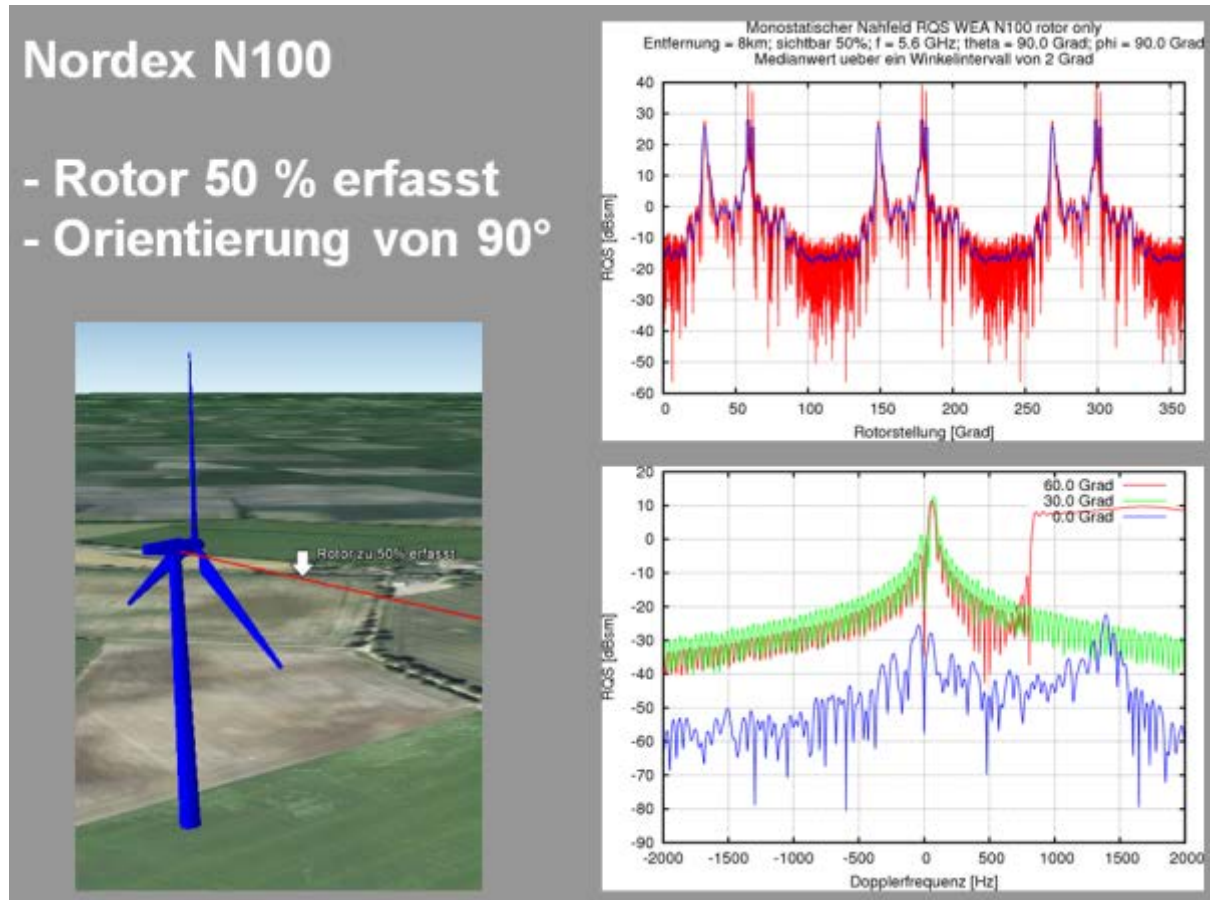


Abbildung 71: RQS und Dopplerspektrum einer Nordex N100 bei teilweiser Erfassung des Rotors von 50 %

Minimalwert des RQS (Median-Kurve)	Maximalwert des RQS (Median-Kurve)	Mittelwert des RQS (Median-Kurve)
-18,39 dBsm	27,94 dBsm	13,82 dBsm

Nachfolgend die RQS-Analyse der Nordex N100 bei teilweiser Erfassung des oberen Teils des Rotors von 50 %. Die rote Linie in der folgenden Abbildung links stellt dabei die Unterkante des idealisierten Radarstrahls dar und soll zeigen, welcher Teil des Rotors erfasst wird.

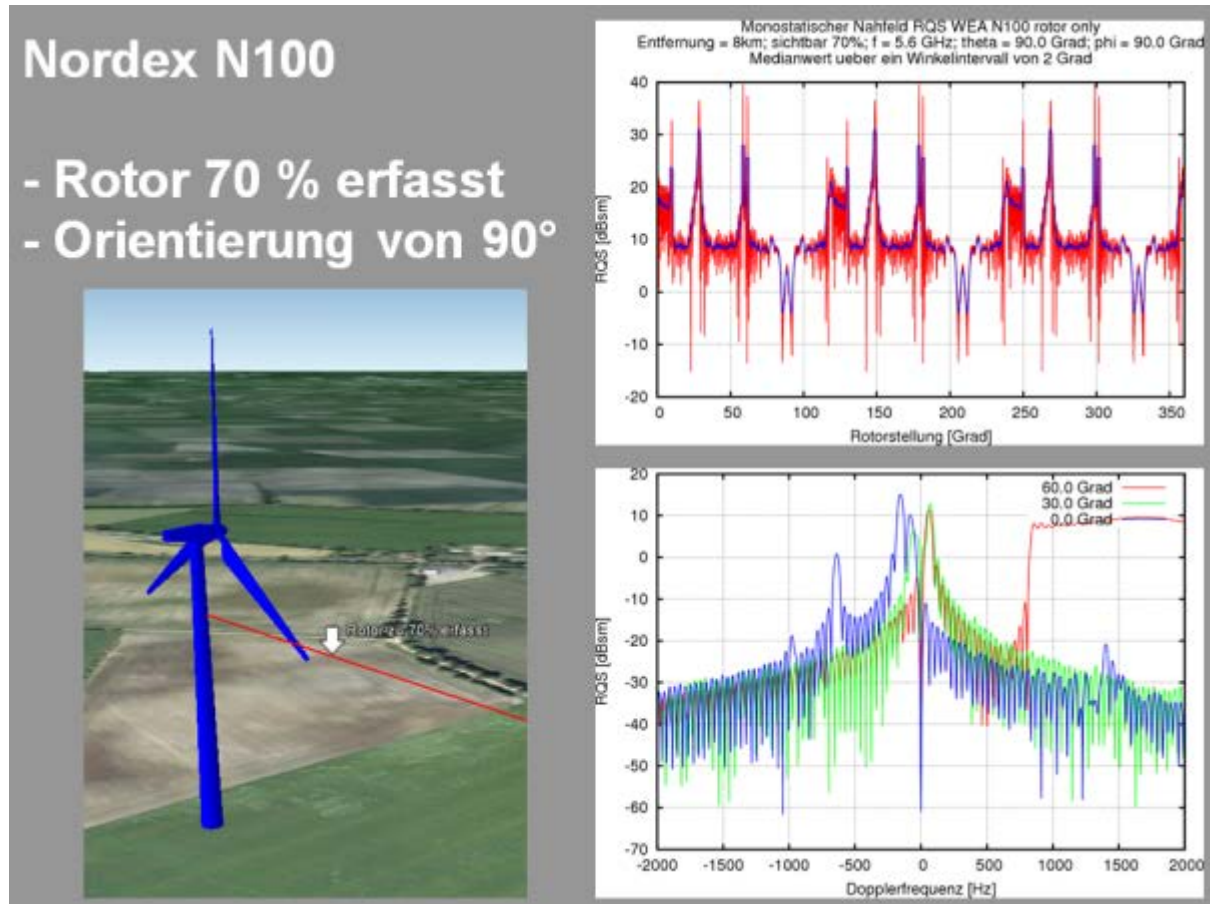


Abbildung 72: RQS und Dopplerspektrum einer Nordex N100 bei teilweiser Erfassung des Rotors von 70 % [10]

Minimalwert des RQS (Median-Kurve)	Maximalwert des RQS (Median-Kurve)	Mittelwert des RQS (Median-Kurve)
-4,07 dBsm	31,01 dBsm	17,59 dBsm

Nachfolgend die RQS-Analyse der Nordex N100 bei vollständiger Erfassung des Rotors (100 %). Die rote Linie in der folgenden Abbildung links stellt dabei die Unterkante des idealisierten Radarstrahls dar und soll zeigen, welcher Teil des Rotors erfasst wird.

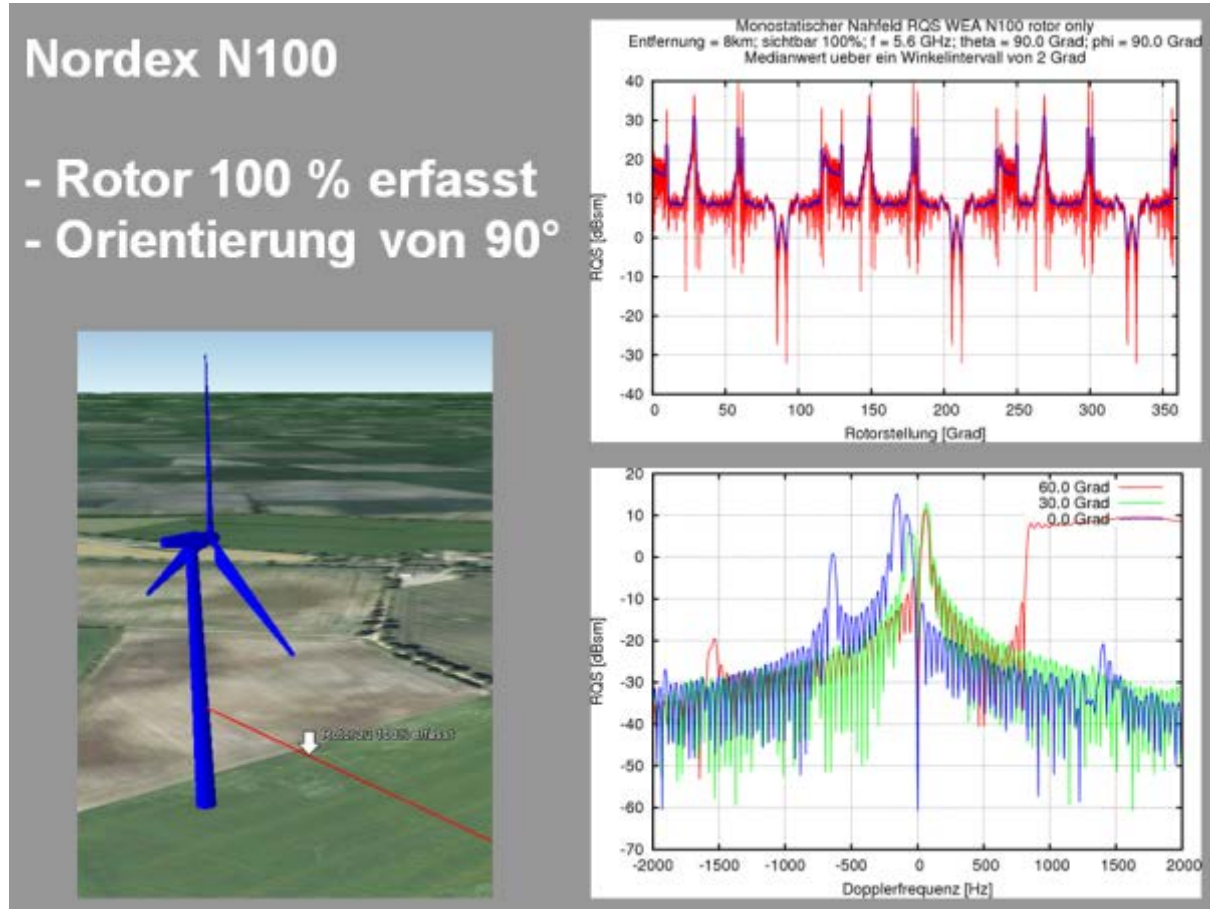


Abbildung 73: RQS und Dopplerspektrum einer Nordex N100 bei kompletter Erfassung des Rotors von 100 % [10]

Minimalwert des RQS (Median-Kurve)	Maximalwert des RQS (Median-Kurve)	Mittelwert des RQS (Median-Kurve)
-3,45 dBsm	31,01 dBsm	17,76 dBsm

a.2. Detailergebnisse für mehr als 30 % Erfassung

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Radarquerschnittsanalyse für drei beispielhafte Rotororientierungen (Orientierung der Rotornabe zur Radaranlage). Es wird dabei berücksichtigt, dass ca. 30 – 50 % des oberen Teils des WEA-Rotors durch das Radar erfasst wird.

Dynamischer Radarquerschnitt für einen WEA-Rotor bei teilweiser Erfassung (mehr als 30 % des oberen Teils des Rotors) und einer vollständigen Rotordrehung um die Nabe von 0° bis 360°. **Orientierung der Nabe zur Radaranlage: $\varphi=10^\circ$.**

Die Achse der Säule wird von der Radarantenne unter einem Winkel von $\theta=90^\circ$ erfasst, d. h. die Höhe der Nabe ist vergleichbar der Antennenhöhe.

Zusätzlich ist ein Medianwert von 2° angegeben. Frequenz: 5,6 GHz

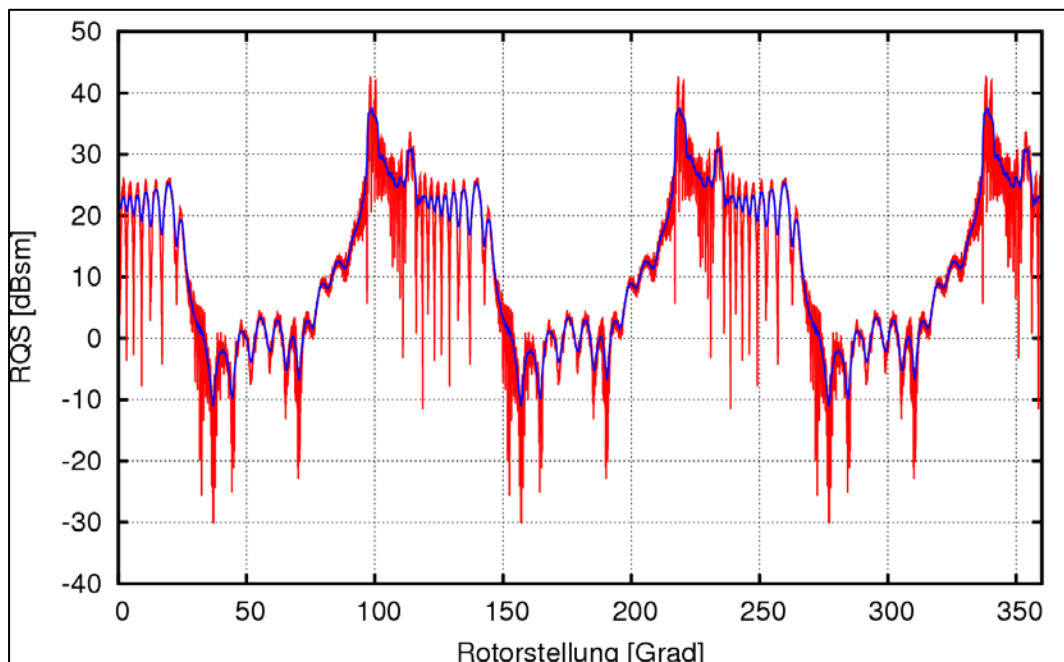


Abbildung 74: Dynamischer RQS in Abhängigkeit von der Rotordrehung. Darstellung für eine vollständige Rotordrehung bei **teilweiser Erfassung von mehr als 30 %** des Rotors

Minimalwert des RQS (Median-Kurve)	Maximalwert des RQS (Median-Kurve)	Mittelwert des RQS (Median-Kurve)
-11,07 dBsm	37,54 dBsm	24,44 dBsm

Dynamischer Radarquerschnitt für einen WEA-Rotor bei teilweiser Erfassung (mehr als 30 % des oberen Teils des Rotors) und einer vollständigen Rotordrehung um die Nabe von 0° bis 360°.

Orientierung der Nabe zur Radaranlage: $\varphi=50^\circ$.

Die Achse der Säule wird von der Radarantenne unter einem Winkel von $\theta=90^\circ$ erfasst, d. h. die Höhe der Nabe ist vergleichbar der Antennenhöhe.

Zusätzlich ist ein Medianwert von 2° angegeben.

Frequenz: 5,6 GHz

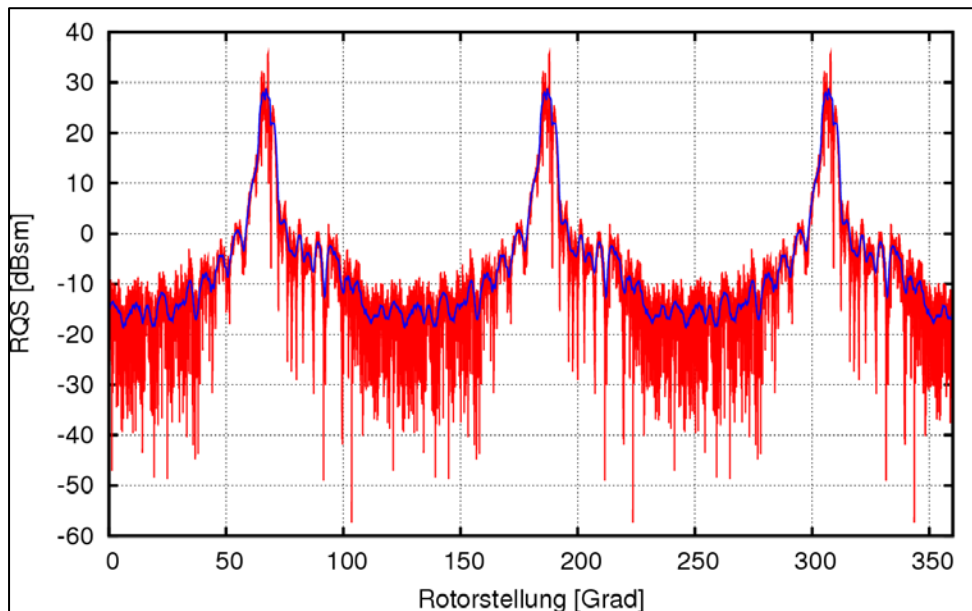


Abbildung 75: Dynamischer RQS in Abhängigkeit von der Rotordrehung. Darstellung für eine vollständige Rotorumdrehung bei **teilweiser Erfassung von mehr als 30 %** des Rotors

Minimalwert des RQS (Median-Kurve)	Maximalwert des RQS (Median-Kurve)	Mittelwert des RQS (Median-Kurve)
-18,62 dBsm	28,72 dBsm	13,79 dBsm

Dynamischer Radarquerschnitt für einen WEA-Rotor bei teilweiser Erfassung (mehr als 30 % des oberen Teils des Rotors) und einer vollständigen Rotordrehung um die Nabe von 0° bis 360°.

Orientierung der Nabe zur Radaranlage: $\varphi=100^\circ$.

Die Achse der Säule wird von der Radarantenne unter einem Winkel von $\theta=90^\circ$ erfasst, d. h. die Höhe der Nabe ist vergleichbar der Antennenhöhe.

Zusätzlich ist ein Medianwert von 2° angegeben.

Frequenz: 5,6 GHz

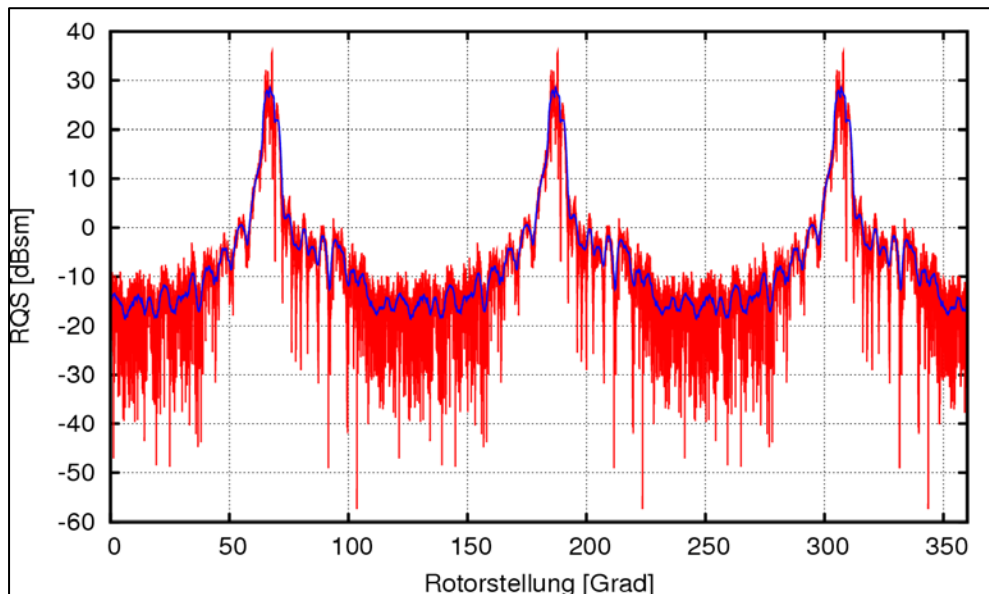


Abbildung 76: Dynamischer RQS in Abhängigkeit von der Rotordrehung. Darstellung für eine vollständige Rotorumdrehung bei **teilweiser Erfassung von mehr als 30 %** des Rotors

Minimalwert des RQS (Median-Kurve)	Maximalwert des RQS (Median-Kurve)	Mittelwert des RQS (Median-Kurve)
-21,13 dBsm	27,57 dBsm	12,50 dBsm

Abbildung 74 bis Abbildung 76 zeigen beispielhaft die Ergebnisse der Radarquerschnittsanalyse für drei unterschiedliche Rotororientierungen relativ zum Radar. Diese Analyse wurde in 5°-Schritten für den gesamten Orientierungsbereich von 0° bis 360° durchgeführt. **Aus den Ergebnissen lässt sich ein Gesamtmittelwert von ca. 26 dBsm ableiten.**

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

a.3. Detailergebnisse für weniger als 30 % Erfassung

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Radarquerschnittsanalyse für drei beispielhafte Rotororientierungen (Orientierung der Rotornabe zur Radaranlage). Es wird dabei berücksichtigt, dass weniger als 30 % des oberen Teils des WEA-Rotors durch das Radar erfasst wird.

Dynamischer Radarquerschnitt für einen WEA-Rotor bei teilweiser Erfassung (weniger als 30 % des oberen Teils des Rotors) und einer vollständigen Rotordrehung um die Nabe von 0° bis 360°. **Orientierung der Nabe zur Radaranlage: $\varphi=10^\circ$.**

Die Achse der Säule wird von der Radarantenne unter einem Winkel von $\theta=90^\circ$ erfasst, d. h. die Höhe der Nabe ist vergleichbar der Antennenhöhe.

Zusätzlich ist ein Medianwert von 2° angegeben. Frequenz: 5,6 GHz

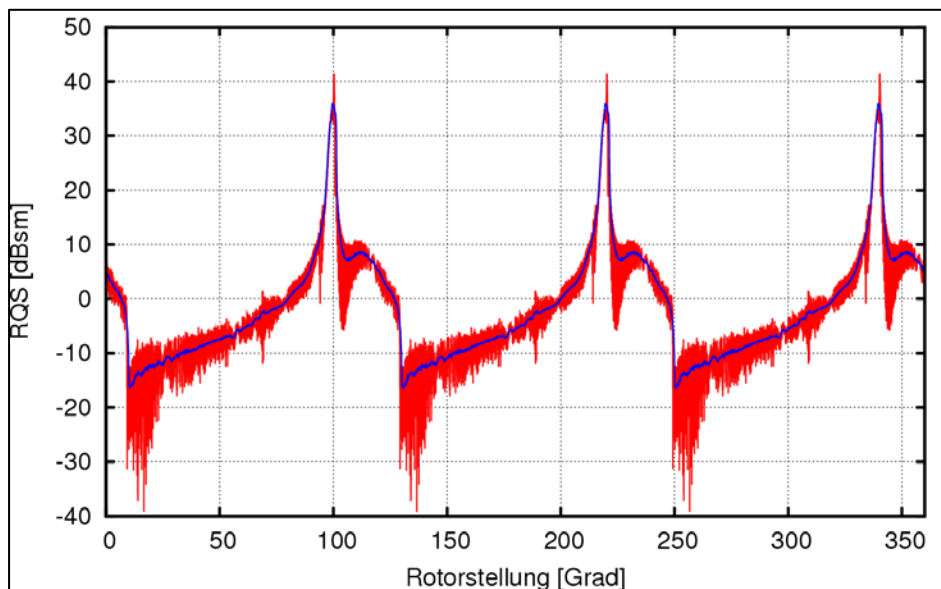


Abbildung 77: Dynamischer RQS in Abhängigkeit von der Rotordrehung. Darstellung für eine vollständige Rotorumdrehung bei **teilweiser Erfassung von weniger als 30 %** des Rotors

Minimalwert des RQS (Median-Kurve)	Maximalwert des RQS (Median-Kurve)	Mittelwert des RQS (Median-Kurve)
-16,49 dBsm	35,97 dBsm	18,93 dBsm

Dynamischer Radarquerschnitt für einen WEA-Rotor bei teilweiser Erfassung (weniger als 30 % des oberen Teils des Rotors) und einer vollständigen Rotordrehung um die Nabe von 0° bis 360°.

Orientierung der Nabe zur Radaranlage: $\varphi=50^\circ$.

Die Achse der Säule wird von der Radarantenne unter einem Winkel von $\theta=90^\circ$ erfasst, d. h. die Höhe der Nabe ist vergleichbar der Antennenhöhe.

Zusätzlich ist ein Medianwert von 2° angegeben.

Frequenz: 5,6 GHz

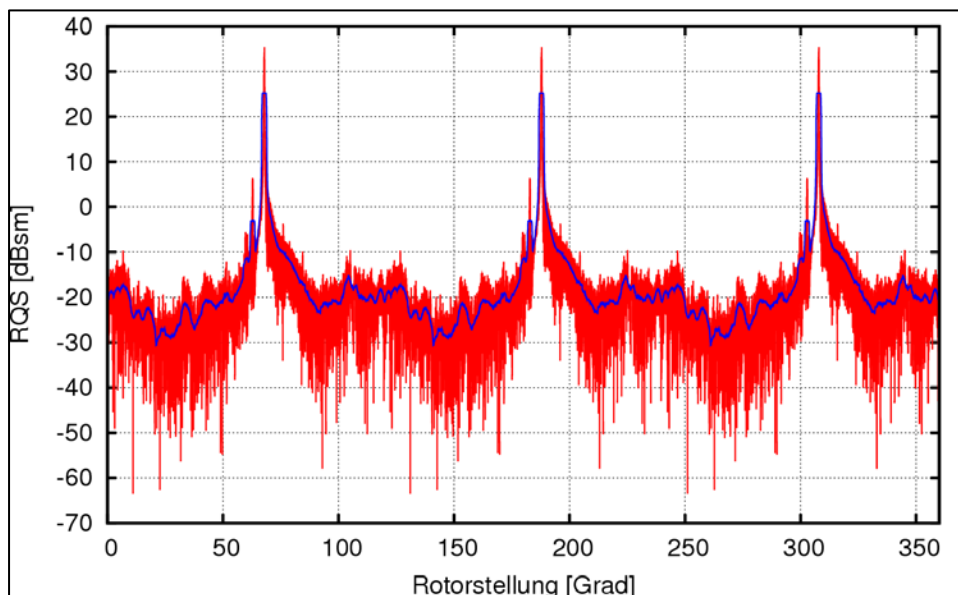


Abbildung 78: Dynamischer RQS in Abhängigkeit von der Rotordrehung. Darstellung für eine vollständige Rotorumdrehung bei **teilweiser Erfassung von weniger als 30 %** des Rotors

Minimalwert des RQS (Median-Kurve)	Maximalwert des RQS (Median-Kurve)	Mittelwert des RQS (Median-Kurve)
-30,55 dBsm	25,31 dBsm	7,60 dBsm

Dynamischer Radarquerschnitt für einen WEA-Rotor bei teilweiser Erfassung (30 % des oberen Teils des Rotors) und einer vollständigen Rotordrehung um die Nabe von 0° bis 360°.

Orientierung der Nabe zur Radaranlage: $\varphi=90^\circ$.

Die Achse der Säule wird von der Radarantenne unter einem Winkel von $\theta=90^\circ$ erfasst, d. h. die Höhe der Nabe ist vergleichbar der Antennenhöhe.

Zusätzlich ist ein Medianwert von 2° angegeben.

Frequenz: 5,6 GHz

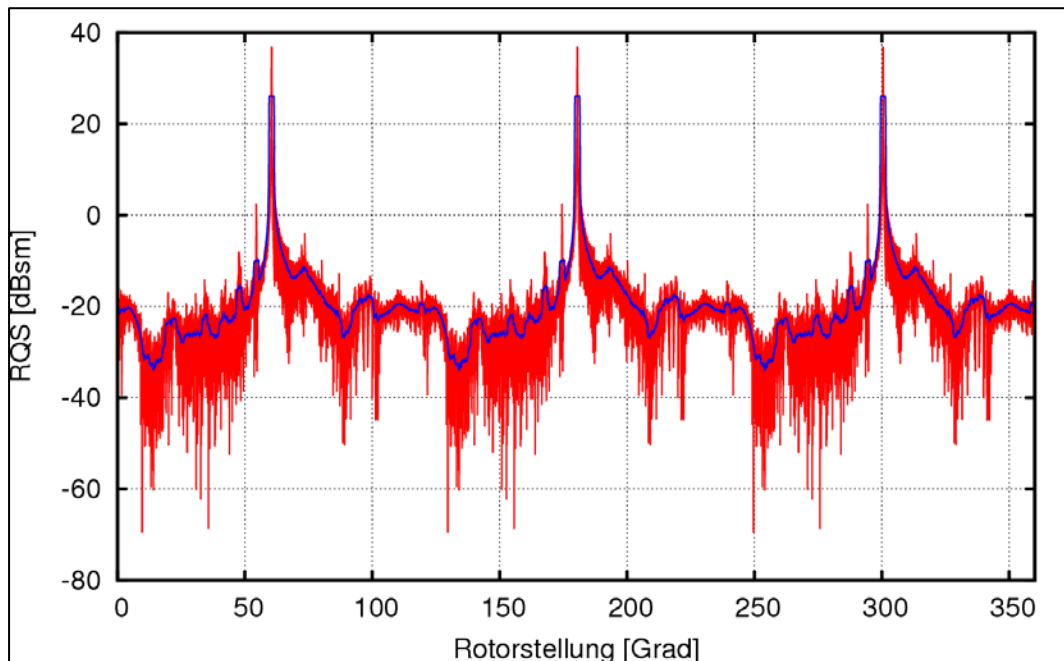


Abbildung 79: Dynamischer RQS in Abhängigkeit von der Rotordrehung. Darstellung für eine vollständige Rotorumdrehung bei **teilweiser Erfassung von weniger als 30 %** des Rotors

Minimalwert des RQS (Median-Kurve)	Maximalwert des RQS (Median-Kurve)	Mittelwert des RQS (Median-Kurve)
-33,85 dBsm	26,13 dBsm	8,40 dBsm

Abbildung 77 bis Abbildung 79 zeigen beispielhaft die Ergebnisse der Radarquerschnittsanalyse für drei unterschiedliche Rotororientierungen relativ zum Radarstandort. Diese Analyse wurde in 10°-Schritten für den gesamten Orientierungsbereich von 0° bis 360° durchgeführt.

Aus den Ergebnissen lässt sich ein Gesamtmittelwert von ca. 19 dBsm über die Rotororientierungen ableiten.

b. Auswerten der Messergebnisse

b.1. Messung: WEAs bei mehr als 30 % Erfassung

Nördliches WEA Gebiet: Der nördliche Teil des ausgewerteten Windparks besteht aus Anlagen des Typs Nordex N100 mit einem Rotordurchmesser von 100 m. Alle WEAs werden durch das Wetterradar erfasst. Der erfasste obere Teil des Rotorbereichs liegt zwischen 30 % und 50 %. Die nachfolgende Abbildung zeigt ausschließlich das nördliche Teilgebiet des Windparks.

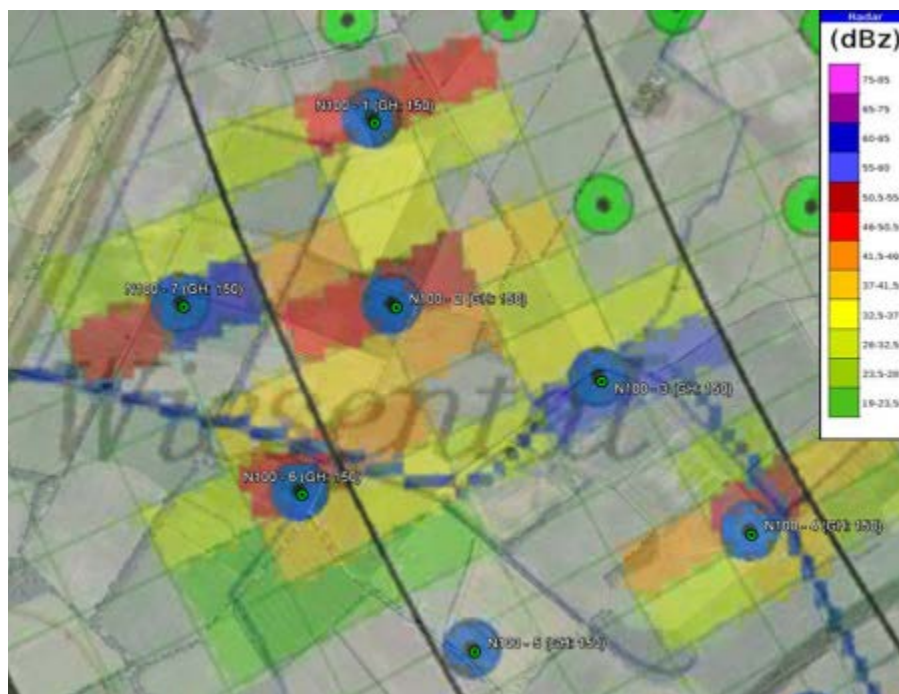


Abbildung 80: Zoom auf das nördliche Teilgebiet [28]

	Entfernung zum Radar	Gesamthöhe WT [müNN]	Prozentuale Erfassung des Rotors	Gemessener dBz-Wert
N100-1	8,58 km	164 m	>30 %	46 – 50,5
N100-2	8,70 km	163 m	>30 %	50,5 – 55
N100-3	8,31 km	163 m	>30 %	55 – 60
N100-4	8,16 km	164 m	>30 %	46 – 50,5
N100-5	8,91 km	166 m	>30 %	-
N100-6	9,11 km	163 m	>30 %	46 – 50,5
N100-7	9,19 km	162 m	>30 %	55 – 60

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

Tabelle 10: Zusammenfassung der Messergebnisse des nördlichen Teilgebietes

Wie in der Abbildung 80 zu erkennen ist, stört eine WEA nicht ausschließlich ein einzelnes Feld des Messrasters, sondern es sind zusätzlich umliegende Felder betroffen. Für die Auswertung der Ergebnisse wurde jeweils der dBz-Wert des Messfeldes ausgewählt, in dem die WEA steht, was auch in jedem Fall das Feld mit dem höchsten dBz-Wert ist. Die Anlage N100-5 war während der Messung außer Betrieb, daher ist kein dBz-Wert der WEA vorhanden.

Aus allen gemessenen dBz-Werten ergibt sich ein Mittelwert von ca. 52 dBz.

b.2.Messung: WEAs bei weniger als 30 % Erfassung

Südliches WEA-Gebiet: Der südliche Teil des vermessenen Windparks besteht aus Anlagen des Typs Senvion (ehemals REpower) MD77 mit einem Rotordurchmesser von 77 m sowie des Typs Enercon E-66 mit einem Rotordurchmesser von 66 m. Alle WEAs werden durch das Wetterradar erfasst. Der erfasste obere Teil des Rotorbereichs liegt überwiegend zwischen 0 % und 30 %. Die nachfolgende Abbildung zeigt ausschließlich das südliche Teilgebiet des Windparks.

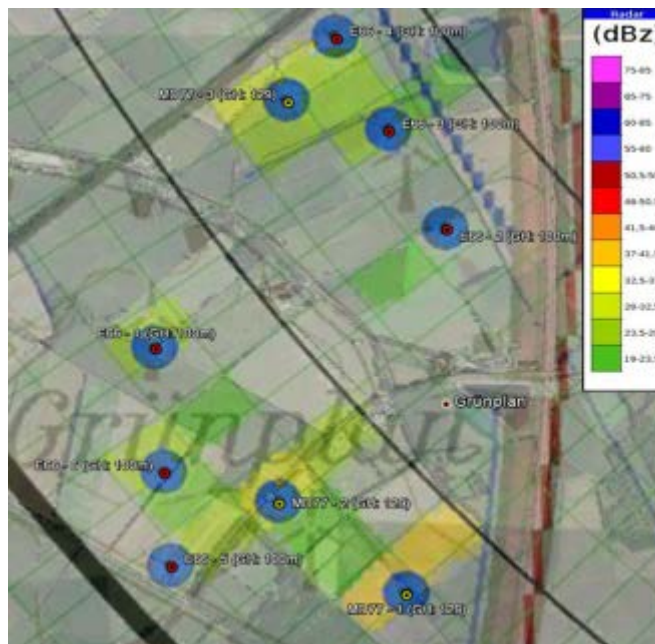


Abbildung 81: Zoom auf das südliche Teilgebiet [28]

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

	Entfernung zum Radar	Gesamthöhe WT [müNN]	Prozentuale Erfassung des Rotors	Gemessener dBz-Wert
MD77-3	8,53 km	144 m	<30 %	28 - 32,5
E66-1	9,37 km	125 m	<30 %	23,5 - 28
E66-2	8,38 km	117 m	<30 %	19 - 23,5
E66-3	8,32 km	115 m	<30 %	23,5 - 28
E66-4	8,28 km	116 m	<30 %	23,5 - 28
E66-5	9,79 km	137 m	<30 %	23,5 - 28
E66-6	9,61 km	133 m	<30 %	23,5 - 28

Tabelle 11: Zusammenfassung der Messergebnisse des südlichen Teilgebietes

Für die Auswertung der Ergebnisse wurde jeweils der dBz-Wert des Messfeldes ausgewählt, in dem die WEA steht, oder das direkt angrenzende Feld, was auch in jedem Fall das Feld mit dem höchsten dBz-Wert ist. Die drei rot gekennzeichneten Werte in der Tabelle sind möglicherweise ungenau, da sich im unmittelbaren Nahbereich weitere WEAs befinden, welche das Ergebnis beeinflussen können. Daher wurden die Ergebnisse bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Zwei weitere WEAs in der Abbildung 81 wurden ebenfalls nicht berücksichtigt, da mehr als 30 % der Rotoren erfasst werden. An dieser Stelle wurden ausschließlich WEAs untersucht, von denen weniger als 30 % ihres Rotorbereichs durch das Radar erfasst werden.

Aus allen gemessenen dBz-Werten der E-66 ergibt sich ein Mittelwert von ca. 27 dBz.

b.3. Korrelation der Ergebnisse

Mehr als 30 % des WEA-Rotors wird erfasst:

Messung:

Mittelwert Reflektivität: ca. 52 dBz

Simulation:

Mittelwert Radarquerschnitt (RQS): ca. 26 dBsm

Weniger als 30 % des WEA-Rotors wird erfasst:

Messung:

Mittelwert Reflektivität: ca. 27 dBz

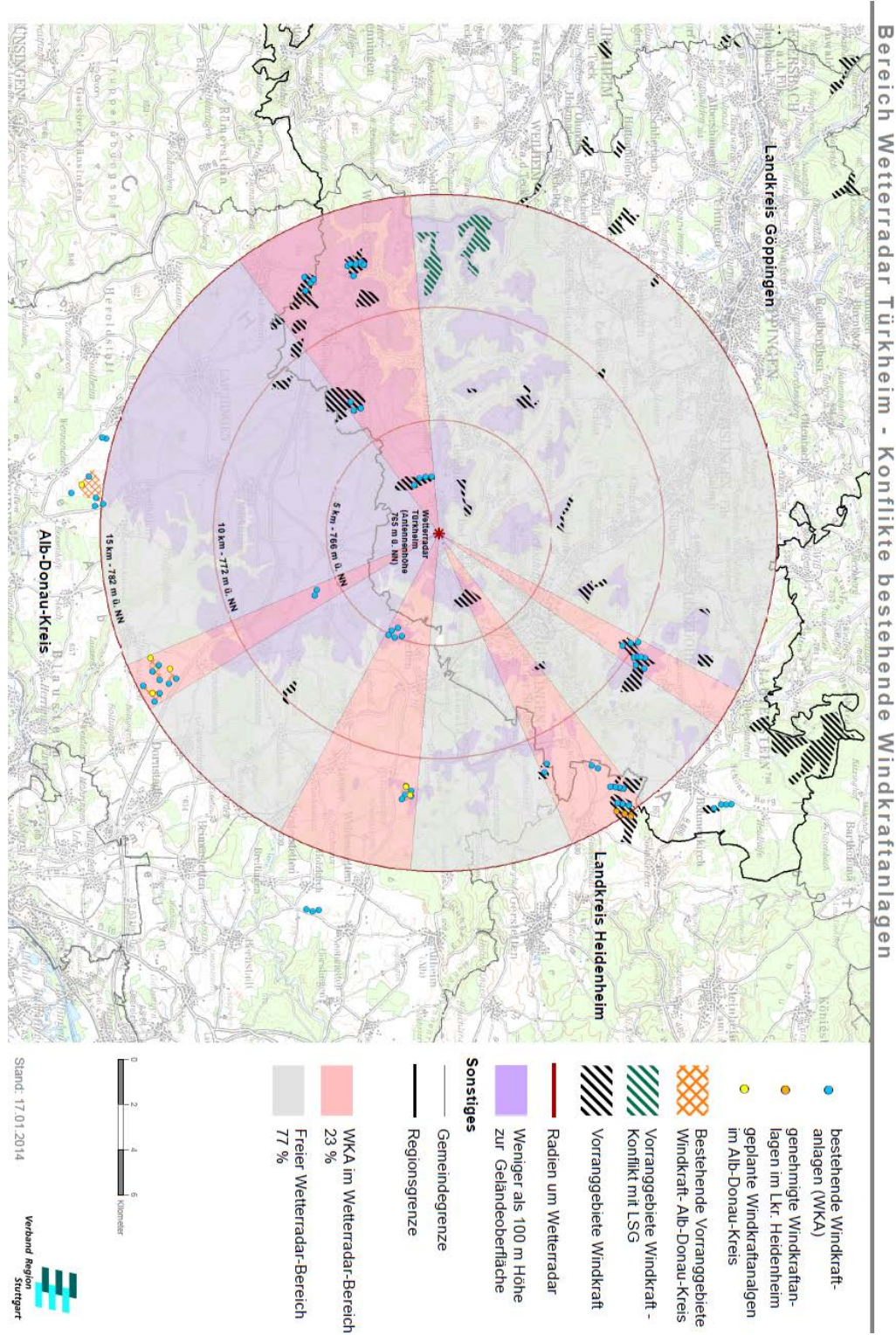
Simulation:

Mittelwert Radarquerschnitt (RQS): ca. 19 dBsm

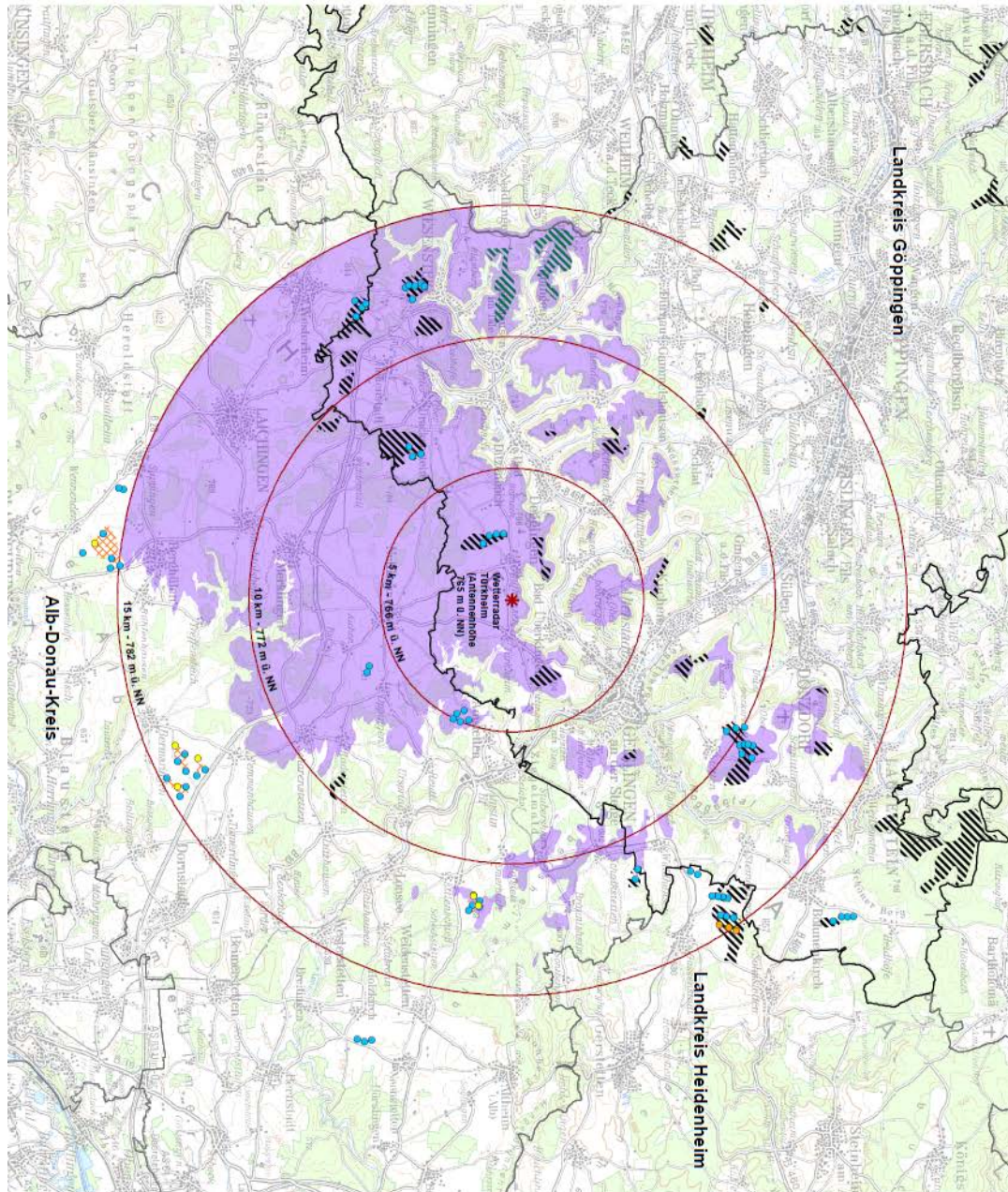
Auf dieser bisherigen Datengrundlage lässt sich ableiten, dass eine Minderung des Radarquerschnitts von ca. 7 dBsm eine Minderung der gemessenen Reflektivität von ca. 25 dBz zur Folge hat.

Eine Teilerfassung des WEA-Rotors durch den Scan der Wetterradarantenne wird eine signifikante Minderung der unerwünschten Einflüsse auf die gemessenen Reflektivitätswerte des betroffenen Volumenelements ergeben. Zugleich zeigen diese ersten Auswertungen, dass reflexionsmindernde Maßnahmen zu deutlich messtechnisch feststellbaren Vorteilen führen.

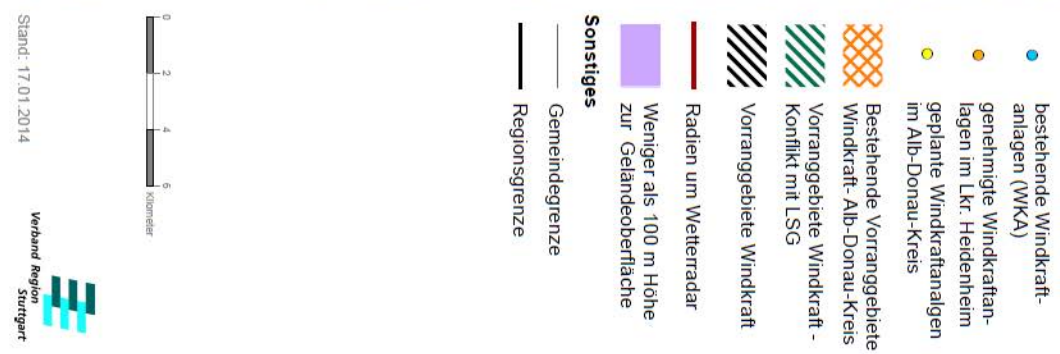
Anhang D: Bereitgestellte Unterlagen des Auftraggebers



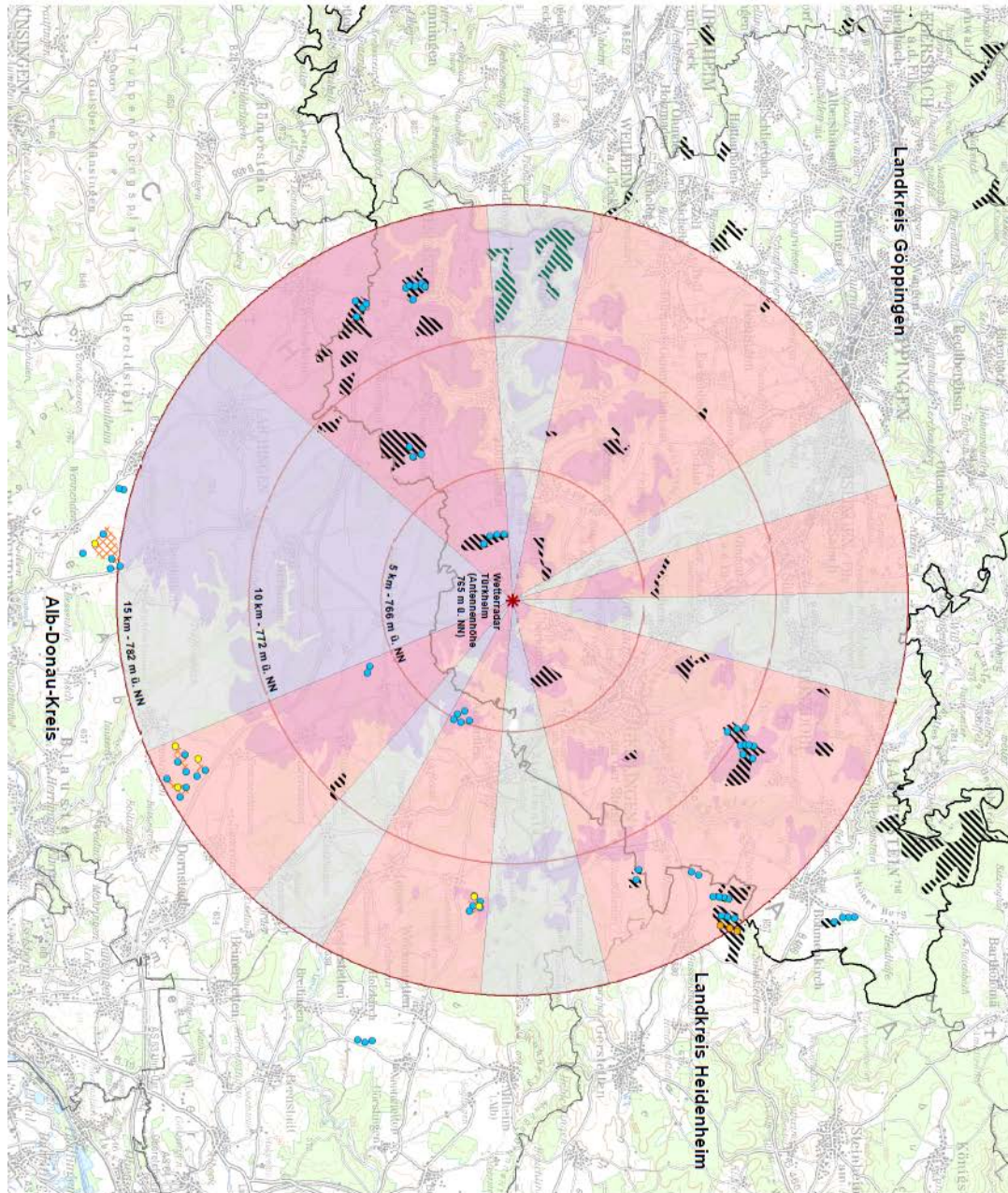
Die Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage ist nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Insbesondere die Veröffentlichung in öffentlich zugänglichen Medien setzt eine explizite schriftliche Zustimmung durch die Airbus Defence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



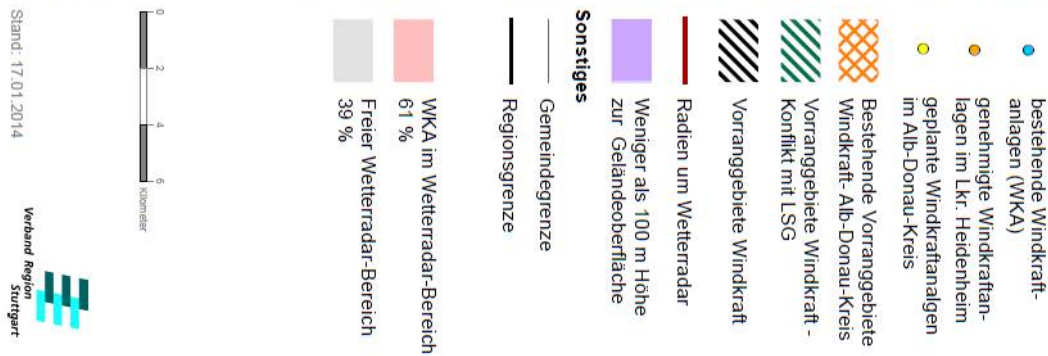
Bereich Wetterradar Türkheim - Bestand und Konfliktlage ab 100 m über Grund



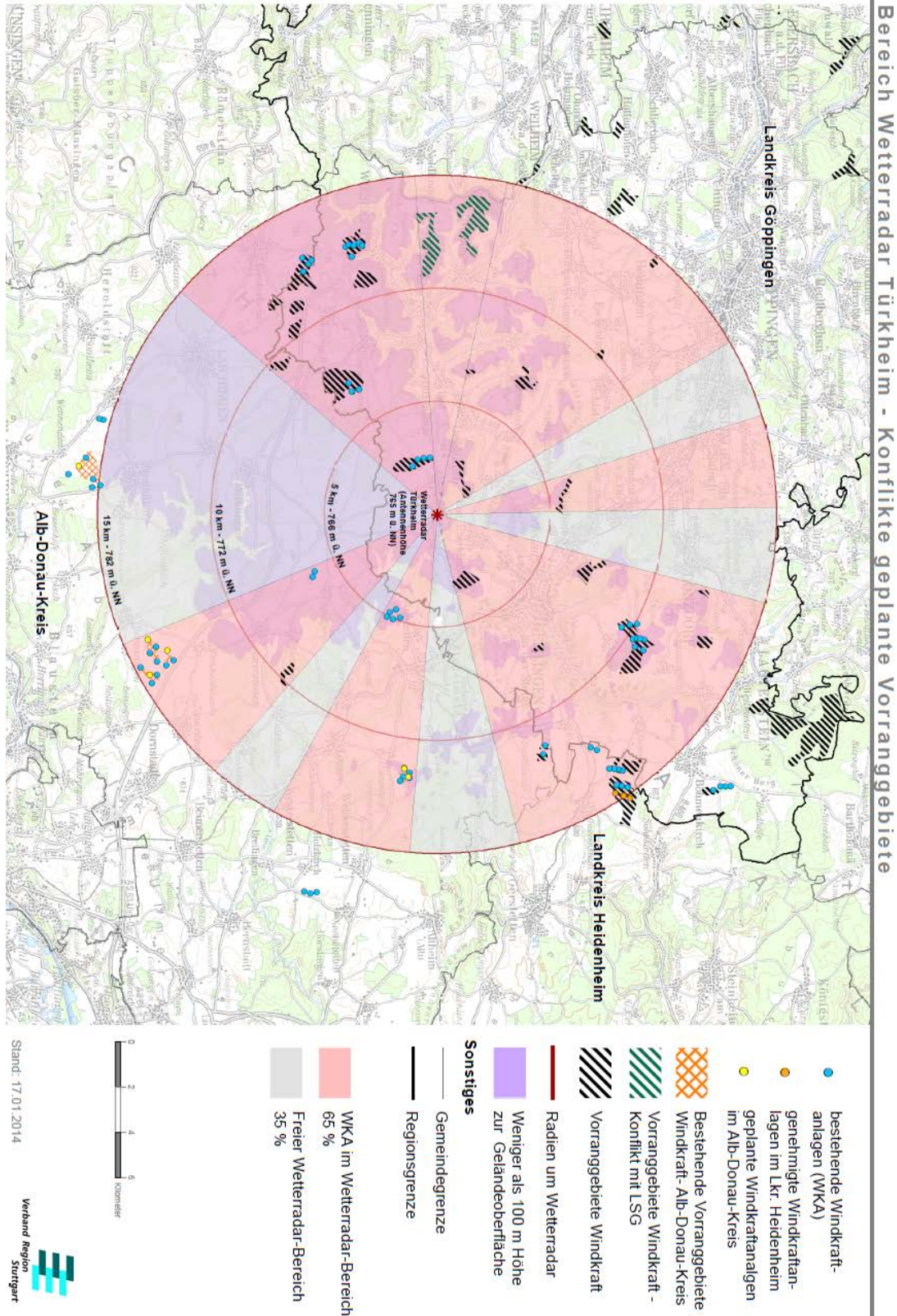
Die Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage ist nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Insbesondere die Veröffentlichung in öffentlich zugänglichen Medien setzt eine explizite schriftliche Zustimmung durch die Airbus Defence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



Bereich Wetterradar Türkheim - Konflikte geplante Vorranggebiete



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



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

Koordinatenlisten:

Daten der bestehenden Windkraftanlagen > 50 m NH im Alb-Donau-Kreis

Nr.	Vor-rang-ge-biet	Standort	Flur-stück	Gelän-de-höhe (üNN)	Naben-höhe (m)	Rotor-durch-messer (m)	Gauß-Krüger Rechtswert	Gauß-Krüger Hochwert
1		Amstetten – Dorf	195	692	70	48	3562373,4	5381687,7
2		Amstetten – Dorf	369	705	70	48	3562417,54	5381412,19
3		Amstetten – Dorf	196	705	70	48	3562117,84	5381261,8
4		Amstetten – Dorf	367	703	70	48	3562319,46	5381124,77
5		Amstetten – Dorf	201	690	80	62	3561992,87	5381515,03
6		Amstetten – Schalkstetten	330	680,1	80	62	3568038,92	5388147,96
7		Amstetten – Schalkstetten	332	674	80	62	3568420,48	5388042,71
8	X	Lonsee – Ettlenschieß	257	674,20	76	47	3569225,946	5382126,980
9	X	Lonsee – Ettlenschieß	252	684,63	76	47	3569458,341	5382134,474
10	X	Lonsee – Ettlenschieß	253	682,61	76	47	3569381,501	5381860,076
11	X	Lonsee – Ettlenschieß	256	679,74	76	47	3569034,270	5381897,255
12	X	Lonsee – Ettlenschieß	246	669,37	125	90	3569585,829	5381691,577
13		Nellingen – Oppingen	5439	714	60	46	3560317,44	5377919,06
14		Nellingen – Oppingen	392	718,5	60	46	3560567,48	5377845,69
15	X	Blaustein – Bermaringen	3180	643,5	108,6	82	3563662,10	5370922,05
16	X	Blaustein – Bermaringen	3240	637,7	108,6	82	3564323,96	5370976,04
17	X	Blaustein – Bermaringen	3254	641,4	108,6	82	3563919,11	5370635,98
18	X	Dornstadt – Temmenhausen	730	643,0	93,6	82	3564262,98	5371684,97
19	X	Dornstadt – Tomerdingen	2866	642,2	93,6	82	3564477,22	5371371,89
20		Laichingen – Suppingen	561	757	70	48	3553615,8	5368618,0
21		Laichingen – Suppingen	561	757	70	48	3553578,9	5368422,3

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

22	X	Berghülen	3646	706,5	98,3	82	3555302,5	5367831,3
23	X	Berghülen	3607	691,09	138,4	82	3556238,2	5368152,5
24	X	Berghülen	3605	684,03	138,4	82	3556515,1	5368455,2
25	X	Berghülen	3603	683,56	138,4	82	3556604,0	5368092,0
26		Blaubeuren – Seißen	1853	701	78	44	3556029,1	5367049,2
27	X	Neenstetten	536	582	100	92	3574509,381	5378025,273
28	X	Neenstetten	536	581	100	92	3574573,098	5377748,527
29	X	Holzkirch	2342	585	100	92	3574492,877	5377481,470
30		Schelklingen – Ingstetten	297	774,9	70	48	3546742,81	5361846,62
31		Schelklingen – Ingstetten	298	771,6	70	48	3546756,23	5361676,22
32		Schelklingen – Ingstetten	321	778	70	48	3546123,91	5362013,73
33		Schelklingen – Ingstetten	320	773	70	48	3546144,57	5361751,53
34		Schelklingen – Ingstetten	309	764	70	48	3546161,68	5361348,17
35		Westerheim	3906/1	841,2	70	48	3546736,4	5377644,2
36		Westerheim	3904	838,3	65	70	3546565,72	5377767,87
37		Westerheim	3915	833,2	61,5	77	3546474,28	5377377,49
38		Westerheim	3947	835,5	61,5	77	3547066,67	5377437,59
39	X	Dornstadt- Tomerdingen	2928	631,4	140,6	117	3564899,49	5370963,21
40	X	Dornstadt- Tomerdingen	3023	625,1	140,6	117	3565271,31	5370715,72
41	X	Blaustein- Bermaringen	3434	636,0	140,6	117	3564581,57	5370231,92

Daten der geplanten Windkraftanlagen > 50 m NH im Alb-Donau-Kreis

Nr.	Vorrang- gebiet	Standort	Flur- stück	Gelände- höhe (üNN)	Naben- höhe (m)	Rotor- durch- messer (m)	Gauß-Krüger Rechtswert	Gauß-Krüger Hochwert
42	X	Berghülen	3631	701	140	120	3555657,0	5367494,6
43	X	Dornstadt- Temmenhausen	751	646,3	140,6	117	3563825,37	5371401,96
44	X	Dornstadt- Tomerdingen	2995	634,0	140,6	117	3564913,15	5370658,60
45	X	Blaustein- Bermaringen	2267	645,5	140,6	117	3563345,23	5370547,25
46	X	Lonsee – Ettlenschieß	252	684,6	140	120	3569410,6	5382091,4
47	X	Lonsee – Ettlenschieß	256	679,7	140	120	3569046,5	5381874,8

Theor. Daten für Windkraftanlagen in geplanten Vorranggebieten im 15 km-Radius um die Wetterradarstation Türkheim

Nr.	Geplantes Vorranggebiet	Flur- stück	Gelände- höhe (üNN)	Naben- höhe (m)	Rotor- durch- messer (m)	Gauß-Krüger Theor. Rechtswert	Gauß-Krüger Theor. Hochwert
BW-01	Amstetten- Schalkstetten	295	661	140	120	3568158	5387911
		359	653	140	120	3568681	5387807
BW-04	Lonsee Radelstetten	369/2	666	140	120	3564503	5376999
		369/2	668	140	120	3564814	5376938
		295	663	140	120	3565233	5376475
		314	659	140	120	3565057	5376602
BW-05	Westerheim- Kirchenfeld	3903	827	140	120	3546332	5377627
		3850	828	140	120	3546860	5377193
		3963	824	140	120	3547258	5377144
BW-06	Laichingen- Weidstetten	5132	785	140	120	3550926	5376793
		5116	786	140	120	3551724	5376657
		3572	785	140	120	3551139	5376369
		3593	783	140	120	3551194	5376145
		3598	771	140	120	3551377	5375983

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

Windkraftanlagen Kreis Heidenheim innerhalb der 15 km-Pufferzone des Wetterradars											
Standort	Betreiber	Flur- Stk.Nr.:	Koordinaten	Status	Leistung je Anlage (Nennleistung)	Anlagentyp	Nabenhöhe	Rotor-		Geländehöhe (ca. - aus Karte abgelesen)	
								durchmess	er		
1 Gerstetten-Gussenstadt	Stadwerke Fellbach	2577-1266	3.569.128 ; 5.391.561	errichtet	660 kW	Vestas V47	76 m	47 m		667 m	
2 Gerstetten-Gussenstadt	Stadwerke Fellbach	2577-1266	3.569.095 ; 5.391.372	errichtet	660 kW	Vestas V47	76 m	47 m		682 m	
3 Gerstetten-Gussenstadt	Stadwerke Fellbach	2577-1214	3.569.073 ; 5.391.168	errichtet	660 kW	Vestas V47	76 m	47 m		681 m	
4 Gerstetten-Gussenstadt	Stadwerke Fellbach	2577-1214	3.569.049 ; 5.390.965	errichtet	660 kW	Vestas V47	76 m	47 m		666 m	
5 Gerstetten-Gussenstadt	ENBW	2577-1330	3.569.870 ; 5.391.773	errichtet	1500 kW	Südwind S 77	85 m	77 m		667 m	
6 Gerstetten-Gussenstadt	ENBW	2577-1335	3.569.809 ; 5.391.510	errichtet	1500 kW	Südwind S 77	85 m	77 m		676 m	
7 Gerstetten-Gussenstadt	ENBW	2577-1337	3.569.770 ; 5.391.279	errichtet	1500 kW	Südwind S 77	85 m	77 m		668 m	
8 Gerstetten-Gussenstadt	ENBW	2577-1172	3.568.114 ; 5.390.130	errichtet	1500 kW	Südwind S 77	85 m	77 m		682 m	
9 Gerstetten-Gussenstadt	ENBW	2577-1173	3.568.241 ; 5.390.394	errichtet	1500 kW	Südwind S 77	85 m	77 m		675 m	
10 Gerstetten-Gussenstadt	ENBW	2577-1379	3.570.237 ; 5.391.563	genehmigt	1500 kW	Südwind S 77	85 m	77 m		668 m	
11 Gerstetten-Gussenstadt	Uhl Windkraft	2577-1339	3.570.136 ; 5.391.226	genehmigt	2300 kW	Enercon E-82	98 m	82 m		652 m	
12 Gerstetten-Gussenstadt	Uhl Windkraft	2577-1381	3.570.359 ; 5.391.849	genehmigt	2300 kW	Enercon E-82	98 m	82 m		657 m	

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

Bestehende Windenergieanlagen im Landkreis Göppingen (entnommen aus der Internetseite „Potenzialatlas Erneuerbare Energien“)							
Stand: Oktober 2013							
Standort	Nabenhöhe in Meter	Leistung in Megawatt	Rotordurchmesser in Meter	Rechtswert	Hochwert		
Böhenkirch, Flst.-Nr.: 2001	85	1,5	70	3569992	5395536,8		
Böhenkirch-Heidhöfe, Flst.-Nr.: 2120, 2121	85	1,5	70	3569837,5	5395884,2		
Böhenkirch-Heidhöfe, Flst.-Nr.: 2126	85	1,5	70	3569838	5396096,9		
Böhenkirch-Heidhöfe, Flst.-Nr.: 2167	85	1,5	70	3569821,6	5396304		
Böhenkirch-Schnittlingen, Flst.-Nr.: 154/1	74	1	52	3563801,6	5392476,2		
Geislingen-Aufhausen, Flst.-Nr.: 591	105	2	90	3555685,9	5382235,2		
Geislingen-Aufhausen, Flst.-Nr.: 731	105	2	91	3555376	5382495,4		
Geislingen-Aufhausen, Flst.-Nr.: 694	78	2	80	3555300,4	5383047,1		
Geislingen-Aufhausen, Flst.-Nr.: 696	78	2	80	3555318,5	5382771,7		
Geislingen-Stöten, Flst.-Nr.: 610	50	0,6	44	3563674	5392090,4		
Geislingen-Stöten, Flst.-Nr.: 614	74	0,85	52	3563345,8	5392499,8		
Geislingen-Stöten, Flst.-Nr.: 576	74	0,85	52	3563311,6	5391999,7		
Geislingen-Stöten, Flst.-Nr.: 573	74	0,85	52	3563305,2	5392157,9		
Geislingen-Stöten, Flst.-Nr.: 573	74	0,85	52	3563299,1	5392320,3		
Geislingen-Stöten, Flst.-Nr.: 502	105	2	92	3562696,1	5391858,9		
Geislingen-Stöten, Flst.-Nr.: 513	105	2	90	3562796,4	5391507,8		
Bad Ditzenbach-Gosbach, Flst.-Nr.: 1970	74	0,85	52	3552267,3	5379897,3		
Bad Ditzenbach-Gosbach, Flst.-Nr.: 2018	74	0,85	52	3552375,5	5379566,9		
Bad Ditzenbach-Gosbach, Flst.-Nr.: 2022	74	0,85	52	3552004,1	5379417,8		
Wiesensteig-Raller, Flst.-Nr.: 1948	70	0,75	48	3545960,4	5379292,8		
Wiesensteig-Raller, Flst.-Nr.: 1950	70	0,75	48	3545868,8	5379426,5		
Wiesensteig-Raller, Flst.-Nr.: 1950	70	0,75	48	3545904,7	5379643,2		
Wiesensteig-Raller, Flst.-Nr.: 1991	70	0,75	48	3545805,6	5379895,7		
Wiesensteig-Raller, Flst.-Nr.: 1998	70	0,75	48	3545910,5	5380044,3		
Wiesensteig-Raller, Flst.-Nr.: 2028	70	0,75	48	3546395	5379583,9		
Geislingen-Stöten, Flst.-Nr.: 500	100	2,7	100	3562657,4	5392176,4		

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

Anhang E: Untersuchung anderer Antennenhöhen für das Radar Türkheim

Die Auswertung der Höhentopografie auf der Basis von Radarhöhendaten zeigt die heute schon hohe Position des Radarstandortes Türkheim. Die Problematik der Höhenbeschränkungen basiert auf den sehr großen Gesamthöhen moderner Windenergieanlagen.

Gemäß den nachstehenden Topografieauswertungen ist eine Bewertung möglich, für welche Vorranggebiete eine moderate Antennenerhöhung eine formale Lösung sein kann.

Nachstehend ist das Höhenprofil der Topografie von Radarstandort Türkheim in Richtung einiger Windenergievorranggebiete dargestellt:

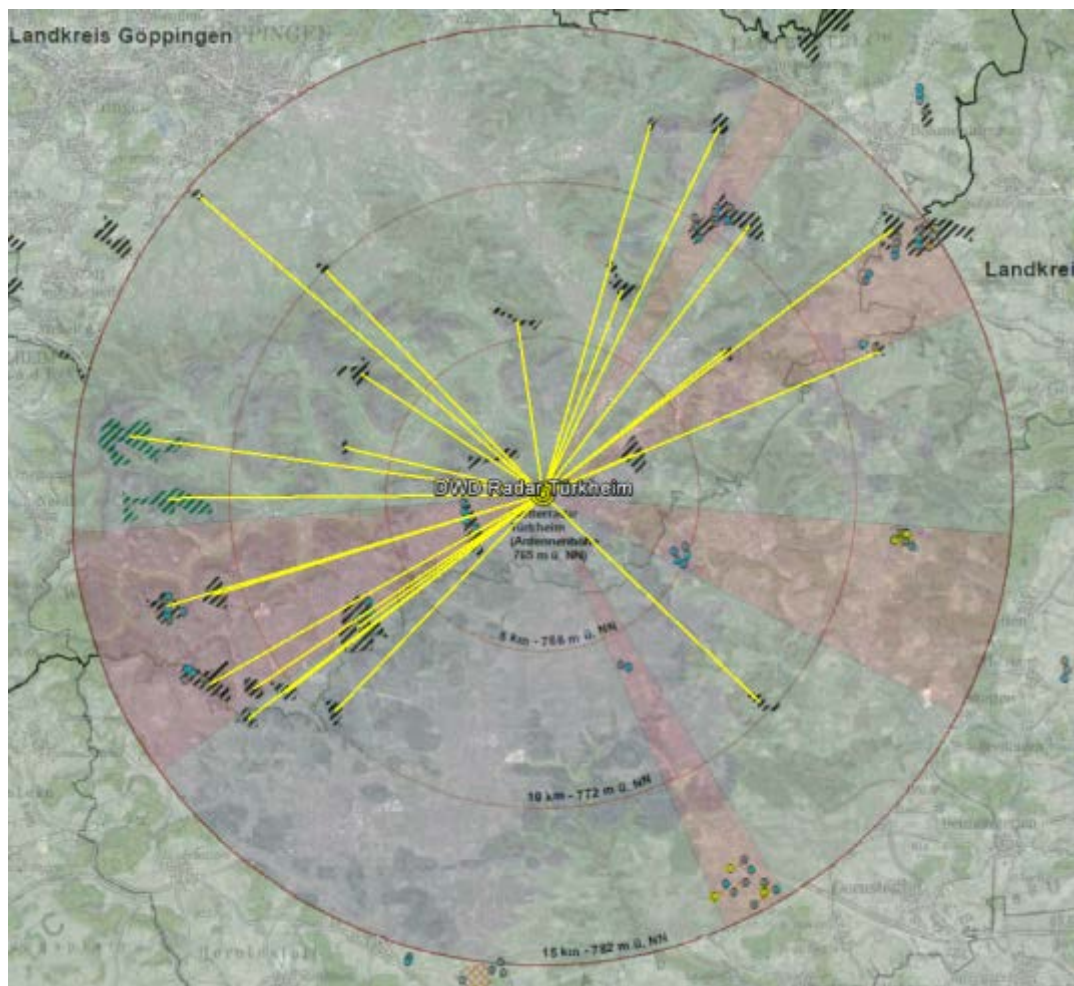


Abbildung E1: Richtungsbezüge der Vorranggebiete [10]

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

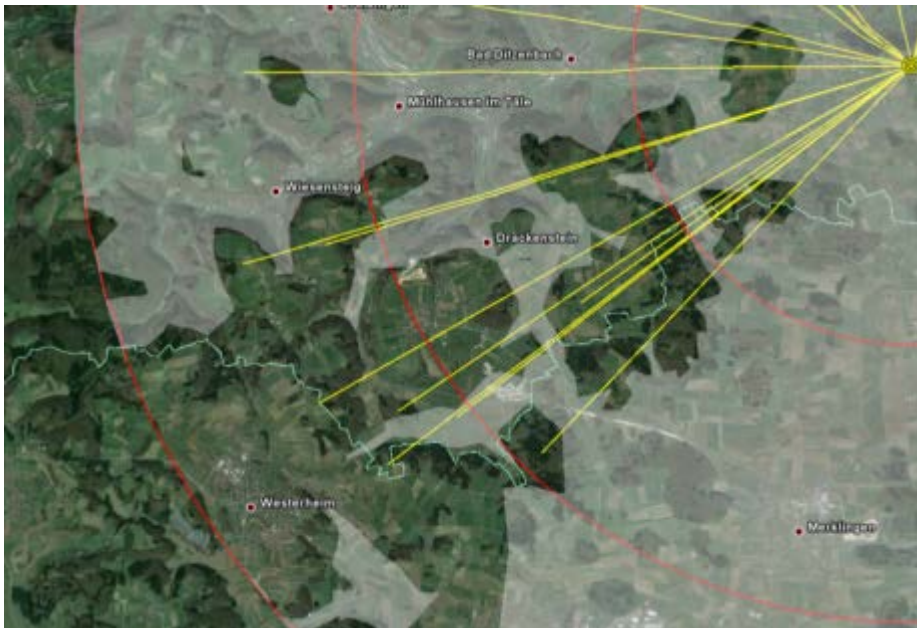


Abbildung E2: Grau dargestellt sind beispielhaft in südwestlichen Richtungen die Geländeflächen, die eine Antennenhöhe von 765 m ü. NN nicht überragen. Andere Richtungen zeigen niedrigere Geländehöhen. [10]

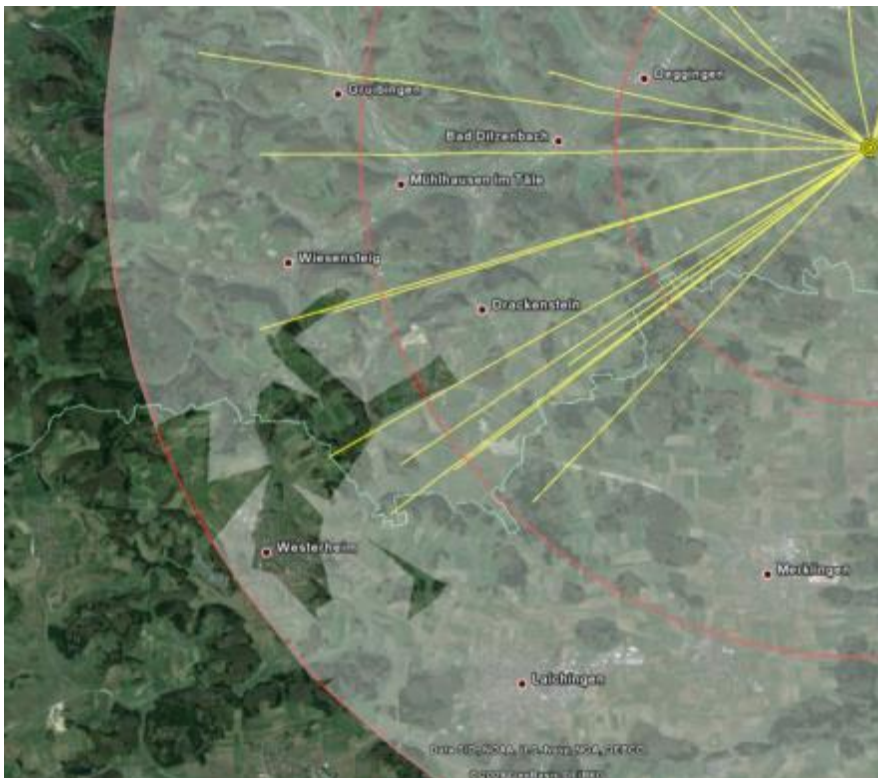


Abbildung E3: Grau dargestellt sind beispielhaft in südwestlichen Richtungen die Geländeflächen, die eine Antennenhöhe von 805 m ü. NN nicht überragen. Andere Richtungen zeigen niedrigere Geländehöhen. [10]

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

Vorranggebiet 1:

Nordöstlich vom Radar Türkheim

Entfernung zum Radar: ca. 12,3 km
Maximalhöhe: ca. 734 m

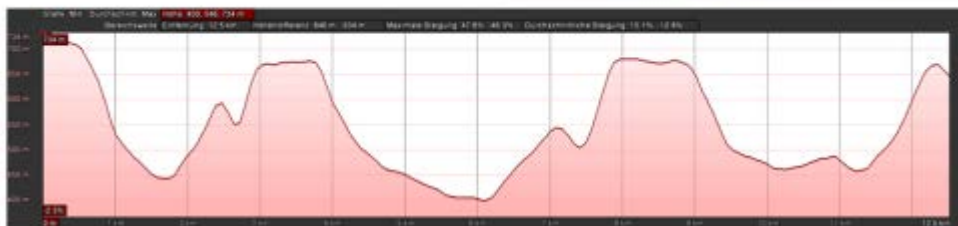
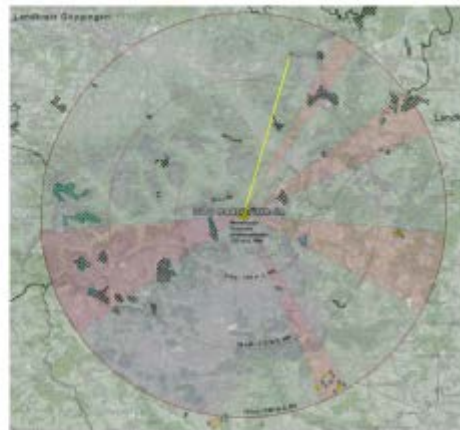


Abbildung E4: Topografiestudium vom Radar zum Vorranggebiet 1. Die Problematik der Höhenbegrenzung konzentriert sich auf einzelne lokale Ortsbereiche, für die eine Erhöhung der Radarantenne keine formale Lösung ist. [10]

Vorranggebiet 2:

Nordöstlich vom Radar Türkheim

Entfernung zum Radar: ca. 13 km
Maximalhöhe: ca. 734 m

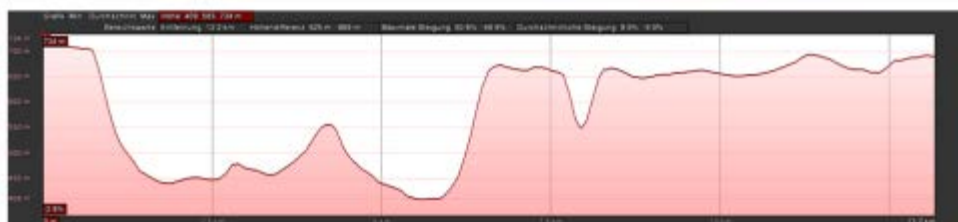
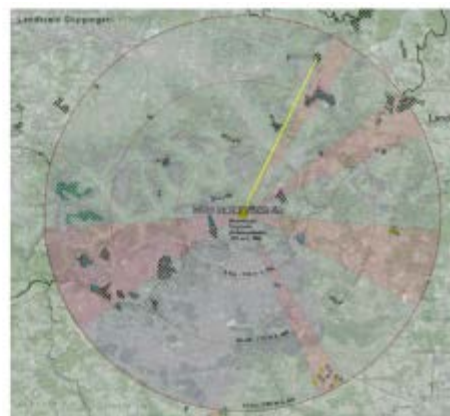


Abbildung E5: Topografiestudium zum Vorranggebiet 2. Die Problematik der Höhenbegrenzung konzentriert sich auf einzelne lokale Ortsbereiche, für die eine Erhöhung der Radarantenne keine formale Lösung ist. [10]

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

Vorranggebiet 5:

Nordöstlich vom Radar Türkheim

Entfernung zum Radar: ca. 14 km
Maximalhöhe: ca. 734 m

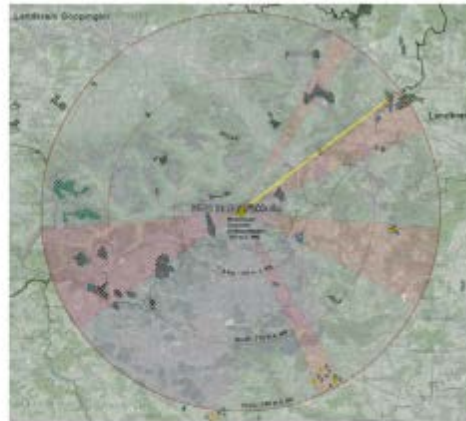


Abbildung E6: Topografiestudium vom Radar zum Vorranggebiet 5. Die Problematik der Höhenbegrenzung konzentriert sich auf einzelne lokale Ortsbereiche, für die eine Erhöhung der Radarantenne keine formale Lösung ist. [10]

Vorranggebiet 11:

Nordwestlich vom Radar Türkheim

Entfernung zum Radar: ca. 10 km
Maximalhöhe: ca. 734 m

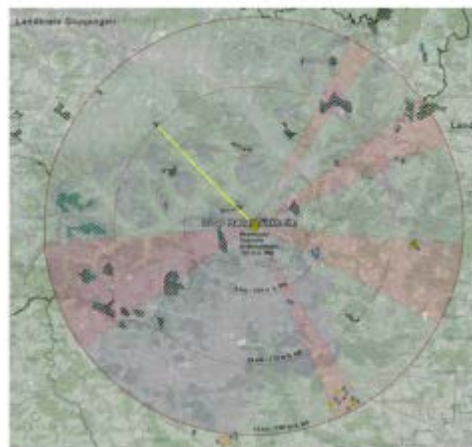


Abbildung E7: Topografiestudium zum Vorranggebiet 11. Die Problematik der Höhenbegrenzung konzentriert sich auf einzelne lokale Ortsbereiche, für die eine Erhöhung der Radarantenne keine formale Lösung ist. [10]

Vorranggebiet 19:

Südwestlich vom Radar Türkheim

Entfernung zum Radar: ca. 12,5 km
Maximalhöhe: ca. 802 m

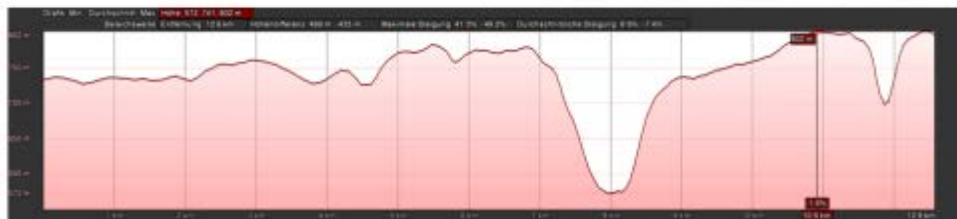
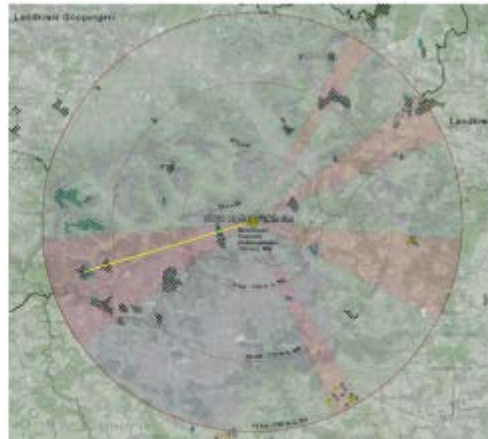


Abbildung E8: Topografiestudium zum Vorranggebiet 19. Die Problematik der Höhenbegrenzung konzentriert sich auf einzelne lokale Ortsbereiche, für die eine Erhöhung der Radarantenne keine formale Lösung ist. [10]

Vorranggebiet 21:

Südwestlich vom Radar Türkheim

Entfernung zum Radar: ca. 12,2 km
Maximalhöhe: ca. 833 m

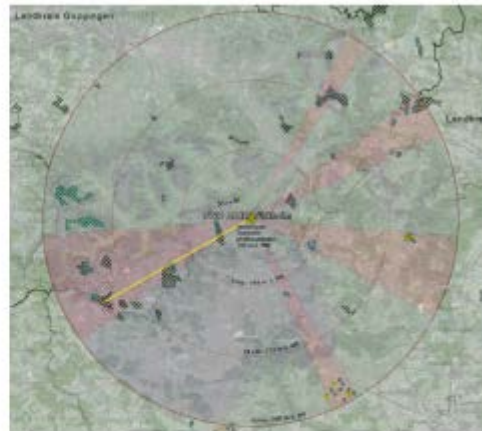


Abbildung E9: Topografiestudium zum Vorranggebiet 21. Die Problematik der Höhenbegrenzung konzentriert sich auf einzelne lokale Ortsbereiche, für die eine Erhöhung der Radarantenne keine formale Lösung ist. [10]

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

Vorranggebiet 24:

Südwestlich vom Radar Türkheim

Entfernung zum Radar: ca. 11,8 km

Maximalhöhe: ca. 798 m

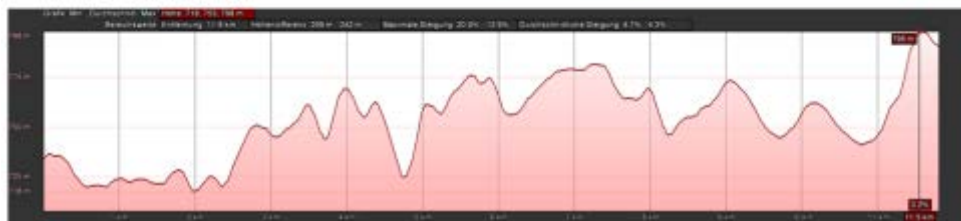
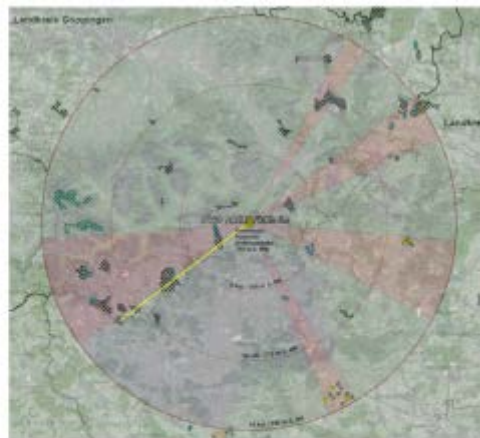


Abbildung E10: Topografiestudium zum Vorranggebiet 24. Die Problematik der Höhenbegrenzung konzentriert sich auf einzelne lokale Ortsbereiche, für die eine Erhöhung der Radarantenne keine formale Lösung ist. [10]

Anhang F: Beispiele des DWD

Nachstehend sind gemessene Beispiele des DWD zusammengestellt, die im Zusammenhang mit verschiedenen veröffentlichten Stellungnahmen die Einflüsse von WEA dokumentieren sollen.

Verschattungsproblematik durch sehr große WEA, die in sehr geringen Distanzen angeordnet sind.

Die in Distanzen der 4 WEA von Süden nach Nord - bzgl. der Standorte - bzw. von rechts nach links - bzgl. der nachgetragenen Verschattungslinien -:

1. 880 m
2. 1250 m
3. 1670 m
4. 2070 m

Der Einfluss der WEA ist stark von der Distanz abhängig und hier bei WEA 4 nicht mehr eindeutig erkennbar, obwohl die Daten eine Kumulation der Werte über eine Woche darstellen.

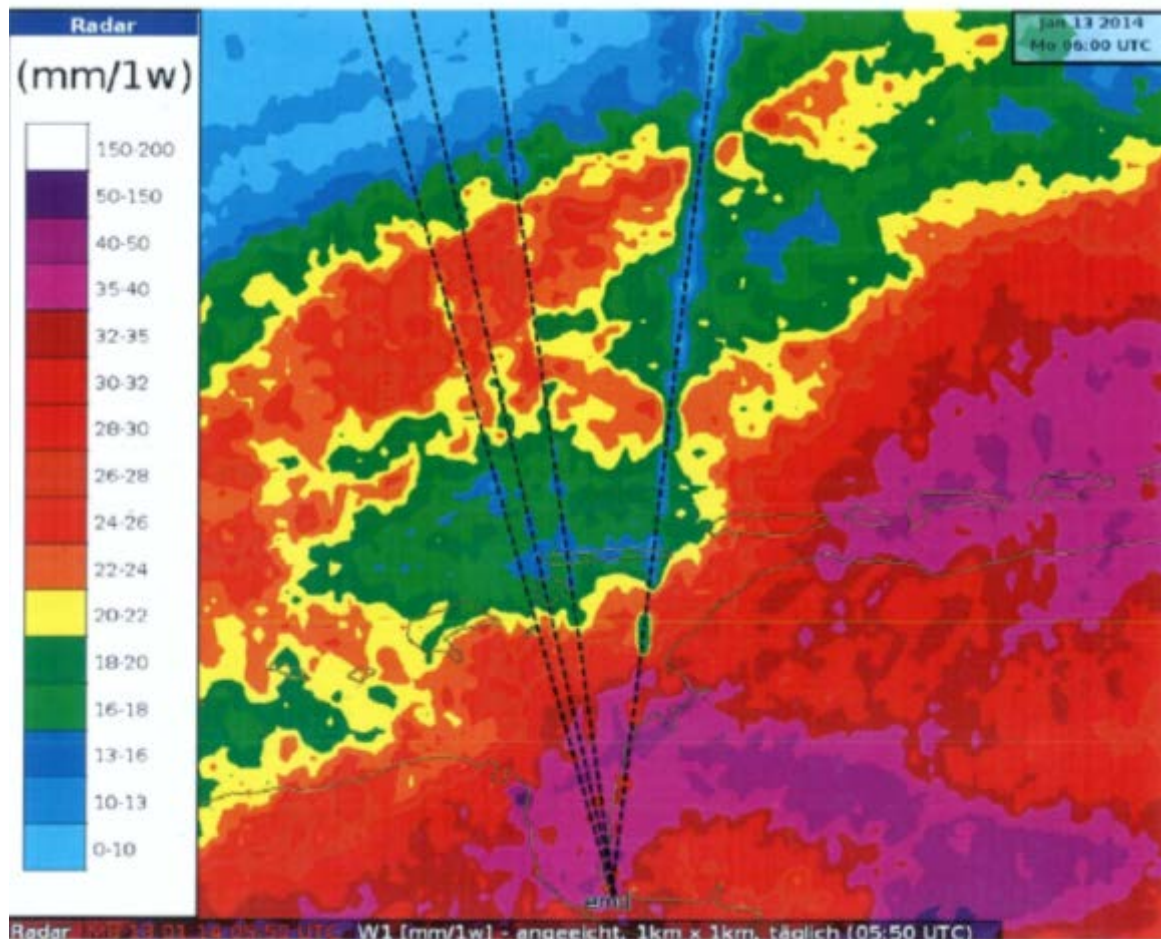


Abbildung F1: Beispiel für das Wetterradar Emden zur Verschattung durch WEA (Quelle: DWD) Kumulation der Messwerte zum Niederschlag über eine Woche [28]

Reflektivität von WEA

Darstellung des betroffenen direkten Umgebungsbereichs um kleine voneinander isoliert stehende WEA-Gruppen ohne Regen (oberes Bild) und mit Regen (unteres Bild).

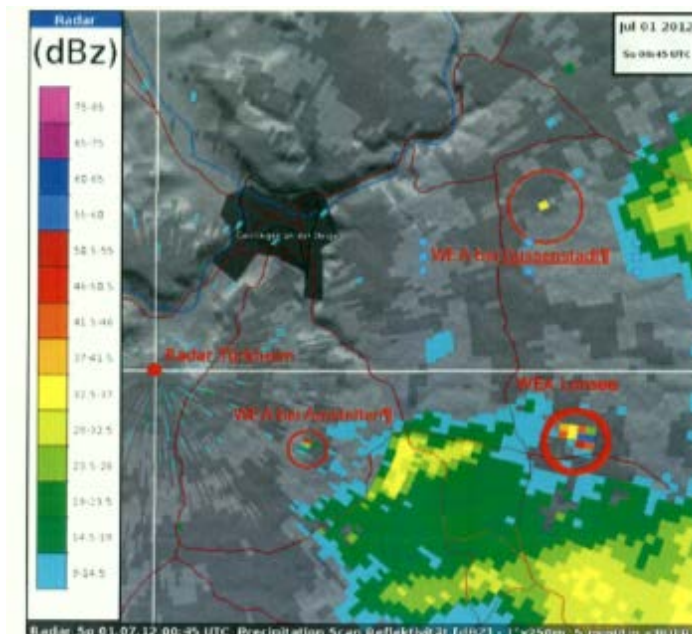
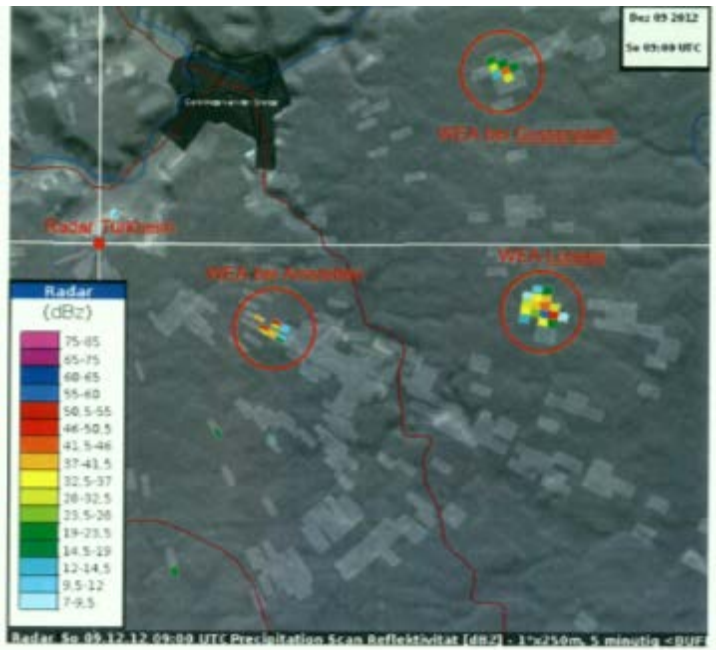


Abbildung F2: Reflektivität von WEA-Zielen ohne Regen (oben) / mit Regen (unten) am Beispiel des Wetterradars Türkheim (Quelle: DWD) [28]

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

Nebenkeulenerfassung von WEA

Darstellung der kumulierenden Reflexionswirkung von WEA über die Nebenkeulen. Die rot gekennzeichneten beiden WEA befinden sich in gleicher Distanz zum Wetterradar Neuheilenbach. Die etwas weiter südlich angeordneten WEA der gleichen Gruppierung zeigen individuelle Distanzen zum Radar. Die drei WEA ohne einen magenta gefärbten Mittelpunkt zeigen eine geringere Reflexionsintensität infolge einer geringen Höhe des Rotorkreises. Dieser wird durch den Precipitationscan nicht vollständig erfasst.

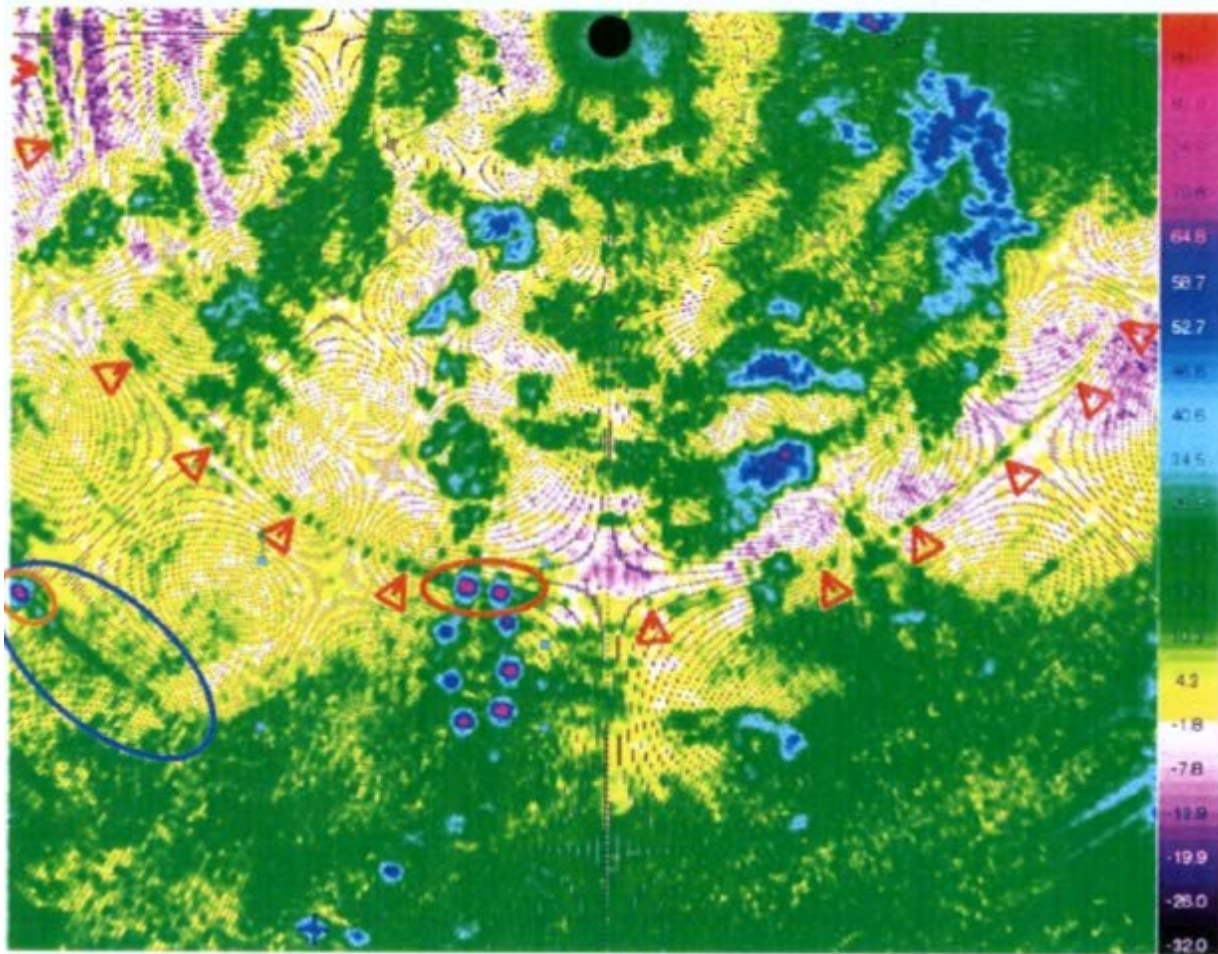


Abbildung F3: Beispiel zur Reflektivität am Wetterradar Neuheilenbach für die Reflektivität in dBz zur Nebenkeulenerfassung von äquidistanten WEA bei vollständiger Erfassung der WEA-Rotoren [28]

Rot gekennzeichnet sind zwei WEA in gleicher Distanz.

Anhang G: Verwendete Software und Qualitätssicherung

Verwendete Software und Simulationsverfahren:

- Wireless InSite, Remcom, Version 2.6.2.8
 - Software zur elektromagnetischen Ausbreitungsrechnung, welche eine effiziente und genaue Vorhersage der EM-Ausbreitung und Kommunikationskanaleigenschaften in komplexen städtischen oder ländlichen Umgebungen bietet.
- Protheus MLFMA
 - Eine Implementation von Hochfrequenz Multilevel Fast Multipole Algorithmen (MLFMA) für dreidimensionale elektromagnetische Streuungsprobleme.
- Software für globale und asymptotische Berechnungsverfahren mit speziellen Airbus Quellcode Implementationen für dreidimensionale Ausbreitungsanalysen sowie für Streuungsprobleme unter Verwendung der Simulationsmethoden MoM (method of moments, „Momentenmethode“), GTD (Geometrische Theorie der Beugung) sowie UTD (Uniform Theory of Diffraction)
- Sonstige Software:
 - Google Earth Pro, Google Inc., Version 7.1.4.1529
 - CATIA, Dassault Systèmes, Version R21

Darüber hinaus werden diverse eigene Softwareentwicklungen sowie Rechenroutinen verwendet.

Qualitätssicherung:

Die Geschäfts- und Produktionsprozesse von Airbus Defence and Space sind qualitätsgesichert und nach DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert. Es werden die beinhalteten Normen und Standards bzgl. der Durchführung aller Vorhaben und Projekte einschließlich der Nutzung und Entwicklung numerischer Analyseverfahren sowie messtechnischer Untersuchungen in eigenen Laboren eingehalten und berücksichtigt. Die o.g. Berechnungsmethoden sind darüber hinaus durch zahlreiche Messungen an Objekten sowohl im Zuge ziviler- als auch militärischer Projekte durch Airbus sowie durch in- und ausländische Behörden meßtechnisch verifiziert.

Anhang H: Mitgenutzte Dokumente

- [1] Aden, M., & Hellwinkel, M. (2012). *Untersuchung externer Einflüsse auf Wetterradare*. Bremen: Hochschule Bremen, EADS Cassidian.
- [2] Eibert, H. (1996). *Untersuchung von Rechenmodellen für komplexe Streuprobleme*. Gesamthochschule Wuppertal: Lehrstuhl für theoretische Elektrotechnik.
- [3] Enterprise Electronics Corporation (EEC). (2009). *Doppler Weather Radar Systems DWSR-5001C*. Arlington.
- [4] Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR. (o.J.). *Analyse des Streufelds komplexer Objekte*. Wachtberg.
- [5] Frye, A. (2012). *Signaturtechnisches Gutachten zur Planung einer Windenergieanlage auf dem Rysumer Nacken im Einflussbereich des Wetterradars Emden-Knock*. Bremen: EADS Deutschland GmbH - Cassidian Air Systems.
- [6] Frye, A. (2012). *Signaturtechnisches Gutachten zur Planung einer Windenergieanlage in Niesaß im Einflussbereich des Wetterradars auf dem Eisberg/ Bayr. Wald*. Bremen: EADS Deutschland GmbH - Cassidian Air Systems.
- [7] Frye, A. (2015). *Signaturtechnisches Gutachten zur Planung von Windenergieanlagen in Admannshagen im Einflussbereich des Wetterradars Rostock*. Bremen: airbus Defence and Space GmbH.
- [8] Frye, A., Neumann, C., & Müller, A. (2009). *Windenergieanlagen (WEA) – Radar Verträglichkeit*. Bremen und Ulm: EADS Deutschland GmbH .
- [9] GEMATRONIK GmbH. (2002). *Doppler Weather Radar System METEOR 360 AC*. Neuss-Rosellen.
- [10] Google Earth - Luftbilder. (Zugriff: 1/2015 und 3/2015). *Diverse Luftaufnahmen im Bereich des Standortes Türkheim*. Google Inc.
- [11] Göbel, J. (2011). *Radartechnik - Grundlagen und Anwendungen*. Berlin, Offenbach: VDE Verlag GmbH.
- [12] Halliday, & Resnick. (2003). *Physik*. Weinheim: Wiley-VCH GmbH.
- [13] Heuel, E.-M. (2004). *Niederschlagsbestimmung aus Radardaten*. Bonn: Universität Bonn.

- [14] Hippel, A. R. (1966). *dielectric materials and applications*. Massachusetts: The Massachusetts Institute Of Technologie.
- [15] Huder, B. (1999). In *Einführung in die Radartechnik*. Stuttgart/Leipzig: B.G. Teubner.
- [16] Kark, K. W. (2010). *Antennen und Strahlungsfelder* (3rd ed. ed.). Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- [17] Keller, J. B. (February 1962). *Geometrical Theory of Diffraction*. Journal of the Optical Society of America.
- [18] Mätzler, C. (2003). *Radarmeteorologie - Vorlesungsskript*. Bern: Universität Bern - Institut für Angewandte Physik.
- [19] Meischner, P. (2004). *Weather Radar: Principles and Advanced Applications*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- [20] Probert-Jones, J. R. (1962). *The radar equation in meteorology*. Quart. J. Roy. Meteor. Soc.
- [21] Reimann, J. (2009). *Erkennung und Filterung von Bodenechos in den Daten eines polarimetrischen Doppler-Wetterradars*. Chemnitz: TU Chemnitz.
- [22] Sauvageot, H. (1992). *Radar Meteorology*. London: Artech House.
- [23] Seltmann, J., Lang, P., Stephan, K., & Hengstebeck, T. (2009). *Einfluss von Windkraftanlagen auf Radarmessungen und Folgeverfahren*. Hohenpeissenberg und Offenbach: Deutscher Wetterdienst.
- [24] Skolnik, M. I. (2008). *Radar Handbook - third edition*. New York, San Francisco, Toronto, London: McGraw-Hill Book Company.
- [25] Wagner, H. (2002). *Die Geometrische Beugungstheorie*.
- [26] Wetterdienst, D. (2011). *Der Radarverbund des Deutschen Wetterdienstes*. Offenbach: DWD.
- [27] Wetterdienst, D. (2011). *Wetterradar in Deutschland*. Offenbach: DWD.
- [28] Wetterdienst, D. (2012). *Wetterradarmessdaten verschiedener Standorte*. (z. B. Boostedt, Neuheilenhach). Deutschland: Deutscher Wetterdienst.
- [29] Wetterdienst, D. (2013). *Informationen zur Errichtung von Windenergieanlagen im Nahbereich der Messsysteme des Deutschen Wetterdienstes*. Offenbach: DWD.