

Naturwind Potsdam GmbH
Hegelallee 41
D-14467 Potsdam

Radarsignaturtechnische Beratung für die
Luftfahrt – Sachverständiger
Lärchenstrasse 18,
D-28816 Stuhr/ Bremen
Telefon: +49.0173-7482890
E-Mail: signaturtechnik@web.de

Ihre Zeichen/Nachricht
G 30-07-2025

Unser Zeichen
G 30-07-2025

Datum
30.07.2025

Ergänzung der radartechnischen Untersuchung zur Windparkplanung Baruth „Mückendorf“ im Bereich einer zusätzlichen Richtfunkstrecke der Fa. Vodafone

Bezug: Ergänzung zum Gutachten G 28-04-2025 vom 28.04.2025
Auftrag vom 21.02.2025

Sehr geehrte Damen und Herren.

Im Rahmen der Untersuchungen zum Gutachten G 28-04-2025 wurde die geplante WEA-Anordnung „Mückendorf“ auf mögliche Auswirkungen gegenüber verschiedenen Richtfunkstrecken, die im Planungsgebiet vorhanden sind, geprüft.

Die 24 Windenergieanlagen sind einheitlich mit den Typ Nordex N175 und einer Nabenhöhen von 179m über Grund sowie einem Rotordurchmesser von 175m vorgesehen.

Aufgabenstellung :

Im Rahmen des o.g. Bezugsgutachtens wurde der Einfluss gegenüber den nachstehenden verschiedenen Richtfunkstrecken geprüft, vgl. Abbildung 1:

- Geplante Strecke der Fa. Telefonica,
- vorhandene Strecke der Fa. Telefonica,
- vorhandene Strecke der Fa. 450C,
- vorhandene Strecke der Fa. Ericsson mit 80Ghz,
- vorhandene Strecke der Fa. Ericcson mit 38GHz,
- vorhandene Strecke der Fa. LAN-COM east,
- sowie eine vorhandene Strecke der Fa. Vodafone, westliche Strecke.

Zusätzlich wird die WEA-Planung auf eine weitere Richtfunkstrecke der Fa. Vodafone zwischen den Punkten Baruth/Mark „BXB979.52“ und Neuhof „BXB241“ geprüft, als östliche Strecke bezeichnet.

In der nachstehenden Abbildung 1 ist das Planungsgebiet sowie die zusätzlich geprüfte östliche Richtfunkstrecke der Fa. Vodafone angegeben.

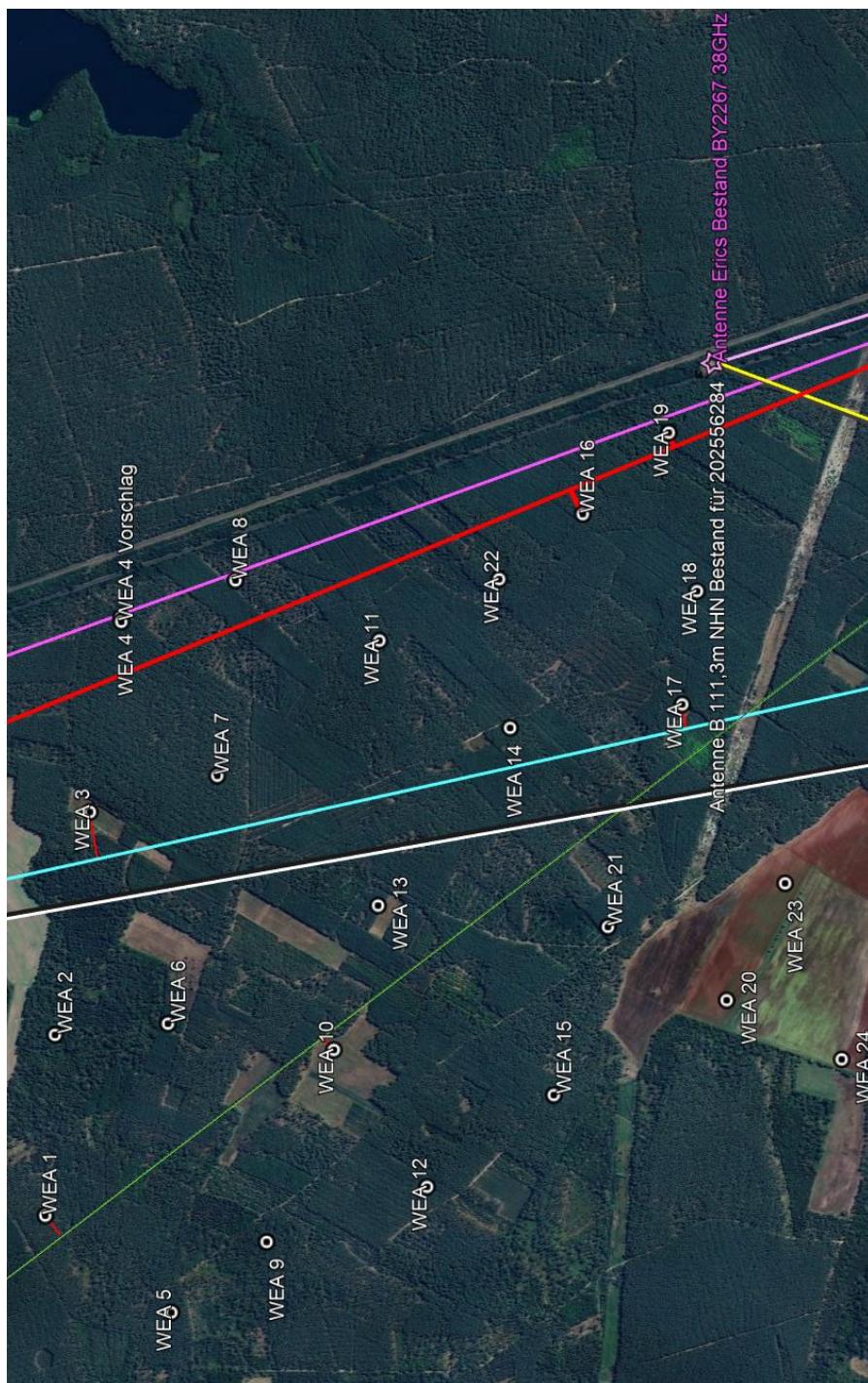


Abbildung 1:
Übersichtsdarstellung der sieben Richtfunkverbindungen sowie der geplanten Windenergieanlagen im Planungsgebiet Baruth/Mark gemäß Bezugs-
gutachten.

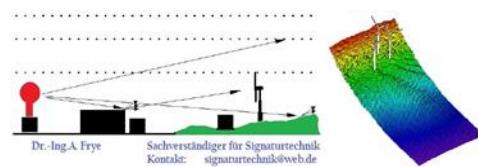
Die zusätzlich geprüfte, östliche Richtfunkstrecke der Fa. Vodafone ist rot dargestellt.

Hellblau:
Geplante Richtfunkstrecke
Fa. Telefonica
gelb:
Vorhandene Richtfunkstrecke
Fa. Telefonica
grün:
vorhandene
Richtfunkstrecke Fa. 450C
magenta:
vorhandene
Richtfunkstrecke Fa. Ericsson
rosa:
vorhandene
Richtfunkstrecke Fa. Ericsson

Weiß:
Westliche vorhandene
Richtfunkstrecke der Fa.
Vodafone

rot:
östliche zusätzlich geprüfte
Richtfunkstrecke der Fa.
Vodafone

außerhalb des Bildes:
vorhandene Richfunk-
strecke Fa. Lan-COM east



Die vorliegende gutachterliche Ergänzung prüft die WEA-Anordnung auf eine zusätzliche östliche vorhandene Richtfunkstrecke der Fa. Vodafone mit den Parametern und Endpunkten gemäß Tabelle 1.

	Nordkoordinate WGS 84	Ostkoordinate WGS 84	Betriebsfrequenz & Länge	Antennen-höhe gesamt NHN	Antennen-höhe (Struktur-höhe) über GND	Fußpunkt-höhe NHN	Höhen-diffe-renz
Funkstelle Nord (Neuhof 0241B)	52° 08' 07,50"	13° 28' 10,70"	23,0 GHz 7448m	95,1m	53,0m	42,1m	Δ 8,1m Von Nord nach Süd ansteigend
Funkstelle Süd Ba-ruth/Mark (0979B)	52° 04' 19,70"	13° 30' 18,0"		103,2m	42,0m	61,2m	

Tabelle 1: Daten zu den Funkstellen;
Quelle: u.a. Mitteilung der Fa. Vodafone an den Auftraggeber

Die nachfolgende Tabelle 2 gibt für die projektierten Windenergieanlagen die Koordinaten, Rotordurchmesser, Nabenhöhe sowie die exakten Fußpunktshöhen wieder:

offizielle Benennung	WEA-Typ	Nabenhöhe	Rotorradius	WGS 84 (GradMinSek)	Breite (Nord)	Länge (Ost)	GOK u. DHHN 2016	GOK u. DHHN 2016	Gesamtbauwerkshöhe	Gesamthöhe in m NHN
WEA 1	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 6' 40" 82156	13° 27' 34" 54074	50.9	266,5	266,5	266,5	317,4
WEA 2	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 6' 38" 58970	13° 28' 5" 42867	49.2	266,5	266,5	266,5	315,7
WEA 3	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 6' 33" 61785	13° 28' 42" 97526	50	266,5	266,5	266,5	316,5
WEA 4	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 6' 29" 05701	13° 29' 15" 93462	55,3	266,5	266,5	266,5	321,8
WEA 5	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 6' 28" 23226	13° 27' 16" 73298	49,9	266,5	266,5	266,5	316,4
WEA 6	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 6' 26" 73109	13° 28' 6" 09528	50,1	266,5	266,5	266,5	316,6
WEA 7	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 6' 20" 02079	13° 28' 47" 85377	53	266,5	266,5	266,5	319,5
WEA 8	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 6' 16" 85421	13° 29' 21" 02590	54,6	266,5	266,5	266,5	321,1
WEA 9	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 6' 17" 78421	13° 27' 27" 87016	50,3	266,5	266,5	266,5	316,8
WEA 10	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 6' 9" 55801	13° 27' 59" 79777	50,7	266,5	266,5	266,5	317,2
WEA 11	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 6' 2" 13712	13° 29' 9" 27637	56,1	266,5	266,5	266,5	322,6
WEA 12	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 6' 0" 66262	13° 27' 35" 45153	51,8	266,5	266,5	266,5	318,3
WEA 13	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 6' 4" 01335	13° 28' 24" 00905	51,2	266,5	266,5	266,5	317,7
WEA 14	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 5' 49" 04469	13° 28' 53" 00642	54	266,5	266,5	266,5	320,5
WEA 15	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 5' 46" 81445	13° 27' 50" 80219	53	266,5	266,5	266,5	319,5
WEA 16	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 5' 40" 11557	13° 29' 28" 67897	60,6	266,5	266,5	266,5	327,1
WEA 17	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 5' 30" 94723	13° 28' 55" 30266	62,8	266,5	266,5	266,5	329,3
WEA 18	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 5' 28" 66795	13° 29' 14" 40347	63	266,5	266,5	266,5	329,5
WEA 19	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 5' 30" 60306	13° 29' 41" 66481	65,4	266,5	266,5	266,5	331,9
WEA 20	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 5' 28" 05271	13° 28' 4" 21642	51,7	266,5	266,5	266,5	318,2
WEA 21	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 5' 40" 06028	13° 28' 16" 069920	57,9	266,5	266,5	266,5	324,4
WEA 22	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 5' 49" 24276	13° 29' 18" 49016	57,4	266,5	266,5	266,5	323,9
WEA 23	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 5' 21" 21499	13° 28' 23" 57836	51,9	266,5	266,5	266,5	318,4
WEA 24	N175.6X-6.8 MW	179 m	87.5 m	52° 5' 16" 41483	13° 27' 52" 94966	51,9	266,5	266,5	266,5	318,4

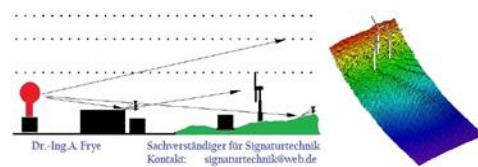
Tabelle 2:

Die projektierten Windenergieanlagen in Barth/Mark. Die lokalen Gelände-/ Fußpunktshöhen sind DGM gemäß Beistellung des Auftraggebers entnommen.

Alle WEA:

Fa. Nordex N175X-6.8MW

175m Rotordurchmesser
179m Nabenhöhe



Bewertung der Störeinflüsse

Die Bewertung der Störeinflüsse in Zusammenhang mit der achten Richtfunkstrecke, der östlichen 23GHz-Richtfunkstrecke der Fa. Vodafone erfolgt unter der Annahme einer reinen Freiraumausbreitung. Bei längeren Übertragungsstrecken über mehrere Kilometer Distanz haben die topografischen Verhältnisse sowie natürliche oder künstliche Hindernisse im Übertragungsweg einen deutlichen Einfluss auf die Übertragungsqualität.

Nachfolgend wird dabei zwischen den Einflüssen durch

- die Erdkrümmung sowie der Topografie und
- Hindernisse im oder nahe dem Übertragungsweg

unterschieden.

Zu a:

Zwischen der Sende- und der Empfangsantennenposition sind bei Richtfunkverbindungen bestimmte räumliche Bereiche um die geometrischen Verbindungslien herum frei zu halten. Vom Bedeutung ist, das auch bei freier geometrisch-optischen Verbindung durch nahe Hindernisse, die sich an der geometrischen Verbindungslien befinden, infolge von Reflexionen Störeinflüsse wirksam werden, die die Übertragung signifikant beeinträchtigen können. Daher ist, um Störeinflüsse durch die Geländetopografie zu vermeiden eine bestimmte Mindesthöhe der Übertragungsstrecke über Grund einzuhalten.

Dabei ist bei langen Übertragungsstrecken die Erdkrümmung zusätzlich zu berücksichtigen, da sich dadurch eine Absenkung der Verbindungsstrecke jeweils gegenüber den Antennenposition ergibt, oder -anders formuliert- eine gegenüber der flachen Erde wirksame Anhebung der Topografie, die am Ort der halben Übertragungsstrecke ein Maximum zeigt.

Zu b:

Zur Vermeidung von Reflexionen an natürlichen oder künstlichen Hindernissen sind zusätzlich seitlich der geometrischen Verbindung bestimmte Mindestabstände frei zu halten.

Die Beeinträchtigung der Richtfunkstrecke durch statische bzw. dynamische Anteile einer Windenergieanlage wird als vollständig ausgeschlossen betrachtet, sofern mindestens die 1. und idealerweise die 2. Fresnelzone nicht durch diese Anlagenteile tangiert wird. In dem Fall ist ein ausreichender Abstand seitlich und, sofern möglich, in der Höhe zu anderen Objekten einzuhalten.

Fresnelzonen sind in diesem Zusammenhang elliptisch geformte Bereiche, die die geometrische Verbindungachse einer Richtfunkstrecke umgeben, vgl. Abbildung 2.

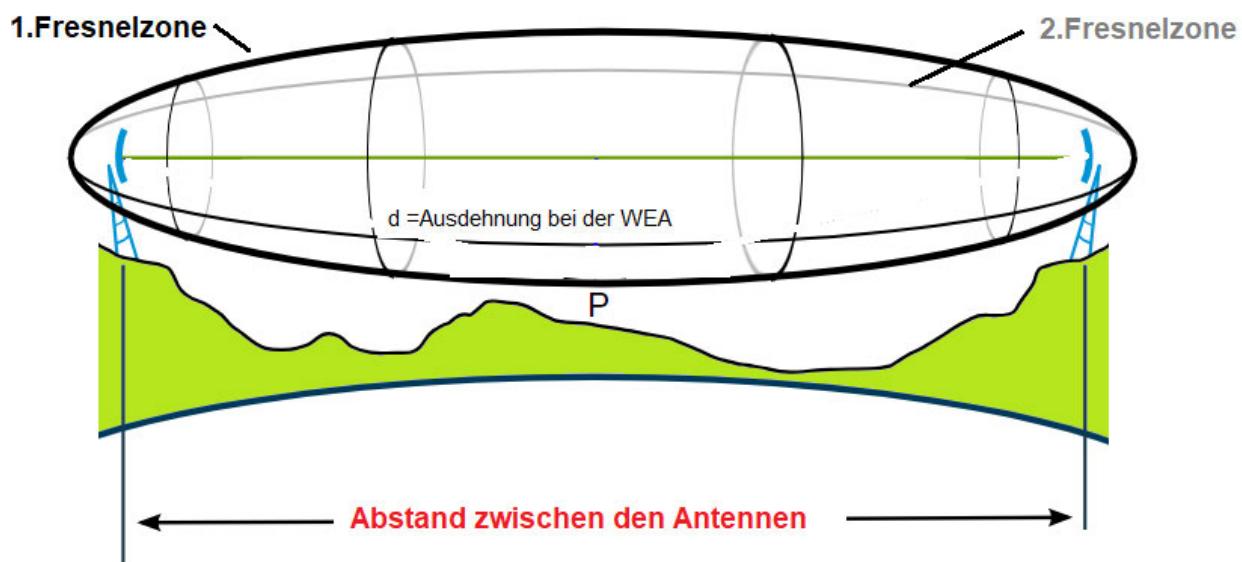


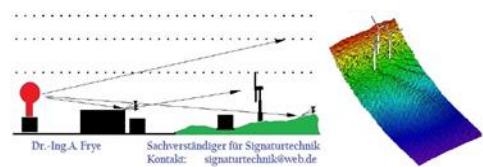
Abbildung 2: Schematische Darstellung zur Fresnelzone

In einem Funkfeld sind Freiraumbedingungen gegeben, wenn eine elektromagnetische Ausbreitung unbehindert zwischen Sende- und Empfangsantenne vorliegt. In der Hochfrequenztechnik rechnet man bei einer sehr genauen Betrachtung mit den Bedingungen einer ungestörten Freiraumausbreitung, wenn der Radius der 1. Fresnelzone um mehr als 57% frei gehalten wird. Dann ist keine durch Hindernisse begründete zusätzliche Dämpfung der Übertragungsstrecke gegeben.

Die nachstehende Bewertung prüft die vollständige Freihaltung der 1. Fresnelzone um die geometrische Verbindungsgeraden zwischen den Antennenpositionen. In dem Raumbereich der 1. Fresnelzone wird die meiste Energie der elektromagnetischen Welle übertragen. Liegen in diesen Bereich Einschränkungen durch Hindernisse vor, z.B. durch Bauwerke, durch die Topografie oder durch Vegetation, sofern die Richtfunkstrecke keine ausreichende Höhe über Grund hat, nimmt die Streckendämpfung infolge von Verschattungen, Reflexionen und Streuungen deutlich zu. Das Rausch-/ Nutzsignal-Verhältnis und damit die Übertragungsqualität werden deutlich reduziert. Die Nutzung und Weiterverarbeitung der übertragenen Daten ist dann nicht mehr möglich.

Diese Fresnelzone ist gemäß Abbildung 2 ein Rotationsellipsoid, dessen Brennpunkte die beiden Antennen sind. Höhere Frequenzen führen zu schmaleren Fresnel-Zonen, sind jedoch empfindlicher gegenüber den o.g. Einflüssen. Auf diese Weise ergibt sich eine schlauchartige Zone im Raum zwischen den beiden Antennenpositionen, die bei der Hälfte der Übertragungstrecke die größte Lateraldimension sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung hat. Zugleich ist die Fresnelzone im Hochfrequenzfeld infolge atmosphärischer Einflüsse leicht gekrümmt, sodass die Erdkrümmung teilweise nachgebildet wird. Der K-Faktor wird hierbei mit 1,3 berücksichtigt. Dieser Sachverhalt führt entlang der Strecke zu einer geringfügig geringeren Höhe über Grund, als bei einer Berechnung der Streckenführung über einer mathematisch idealen Ebene ohne Erdkrümmung.

Die laterale Ausdehnung der Fresnelzonen wird durch Länge der Strecke sowie die Übertragungsfrequenz bestimmt. Bei sehr hoher Frequenz ergibt sich eine schmalere Zone mit geringerer Querausdehnung in Höhe und Breite.



Die 2. und höhere Fresnelzonen haben in der Praxis eine geringere Bedeutung. Nachfolgen wird die 2. Fresnelzone ggf. zusätzlich als Sicherheitspuffer berücksichtigt, da die Lage der Antennen am Mast sowie die WEA- und Antennenstandorte infolge von Koordinatenumrechnungen nicht immer dezimetergenau bestimmt werden können.

Die Untersuchung berücksichtigt alle vorstehenden Angaben gemäß Kapitel 1 und beinhaltet folgende Arbeitsschritte:

- Abbildung der projektierten Windenergieanlagen sowie der Funkstellen in eigenen Datensätzen des Autors
- Ermittlung der exakten Abstände und Azimutwinkel zu den Funkstellen.
- Ermittlung der exakten Höhe der Punkt-zu-Punkt Verbindung der beiden Funkstellen.
- Ermittlung des Topografieverlaufs
- Berechnung der geometrischen Erdkrümmung
- Ermittlung der maximalen Breite und Höhe der 1. und 2. Fresnelzone.
- Ermittlung von Lage und Querdimension der 1. und 2. Fresnelzone in Bezug auf die geplanten WEA
- Ermittlung möglicher Überlappungen der Fresnelzonen mit dem Rotorkreis der geplanten – Worst Case Ansatz. Rotorebene steht orthogonal zur Punkt-zu-Punkt Verbindung.

Sofern die Analysen zeigen, dass weder die erste noch die zweite Fresnelzone durch Anlagenteile berührt werden, kann eine Beeinträchtigung der Richtfunkstrecke durch die geplanten WEA ausgeschlossen werden.

Sollten WEA-Anlagenteile die erste bzw. zweite Fresnelzone berühren oder sehr nahe sein, werden Maßnahmen zur Reduktion dieser Störwirkung erforderlich sein.

Situation des Windparks bzgl. der östlichen Strecke der Fa. Vodafone

Die Auswertung der WGS 84 - Koordinaten der Standortplanungen zum Windpark Mückendorf gemäß Tabelle 2 ergibt für die vorhandene 23GHz-Strecke der Fa. Vodafone die geringsten Abstände zu der WEA 16 und der WEA 19.

Diese Seitenabstände sind in den nachstehenden Abbildungen gekennzeichnet.

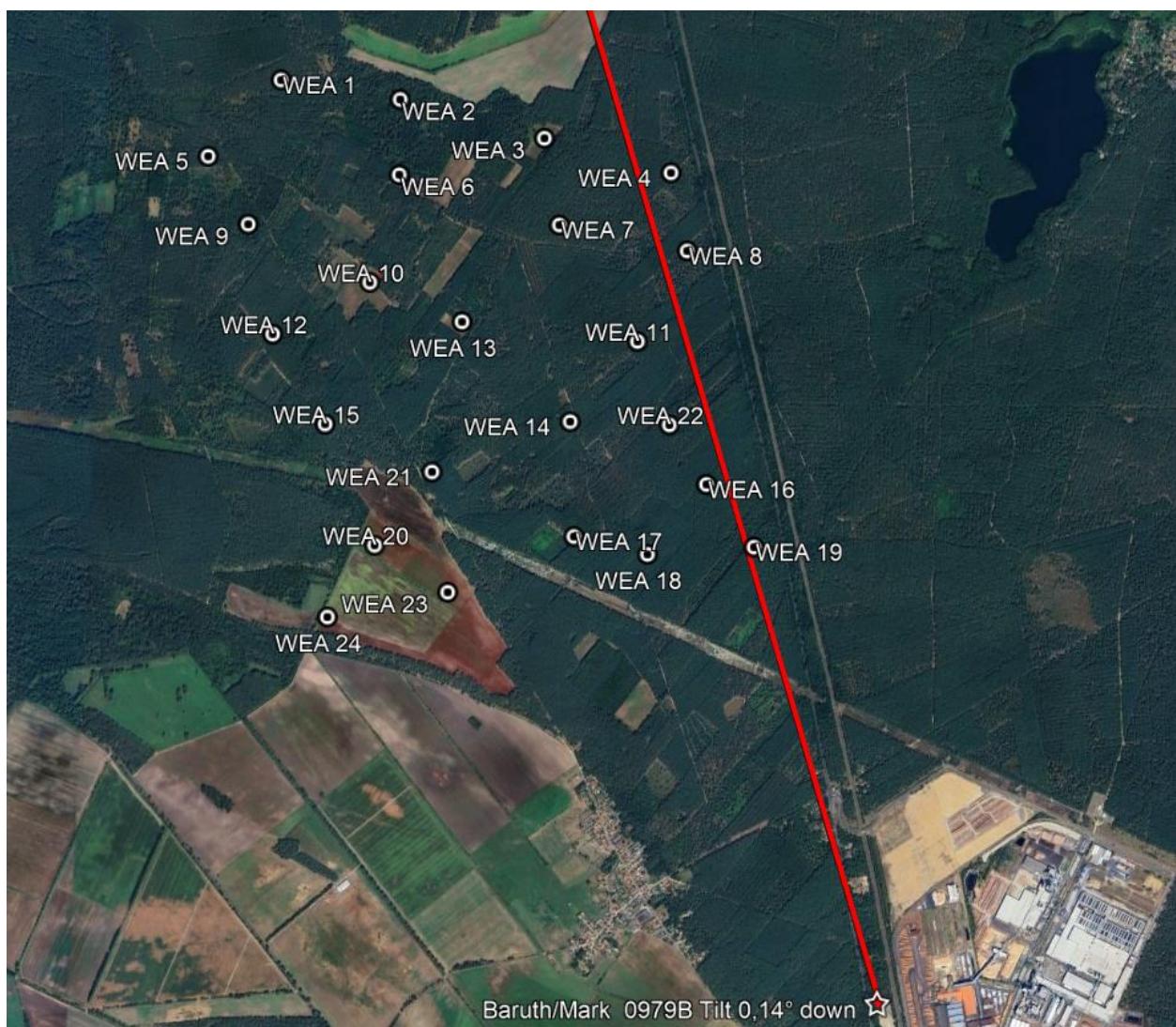


Abbildung 3: Darstellung der Richtfunkstrecke zu den geplanten WEA als Gesamtübersicht

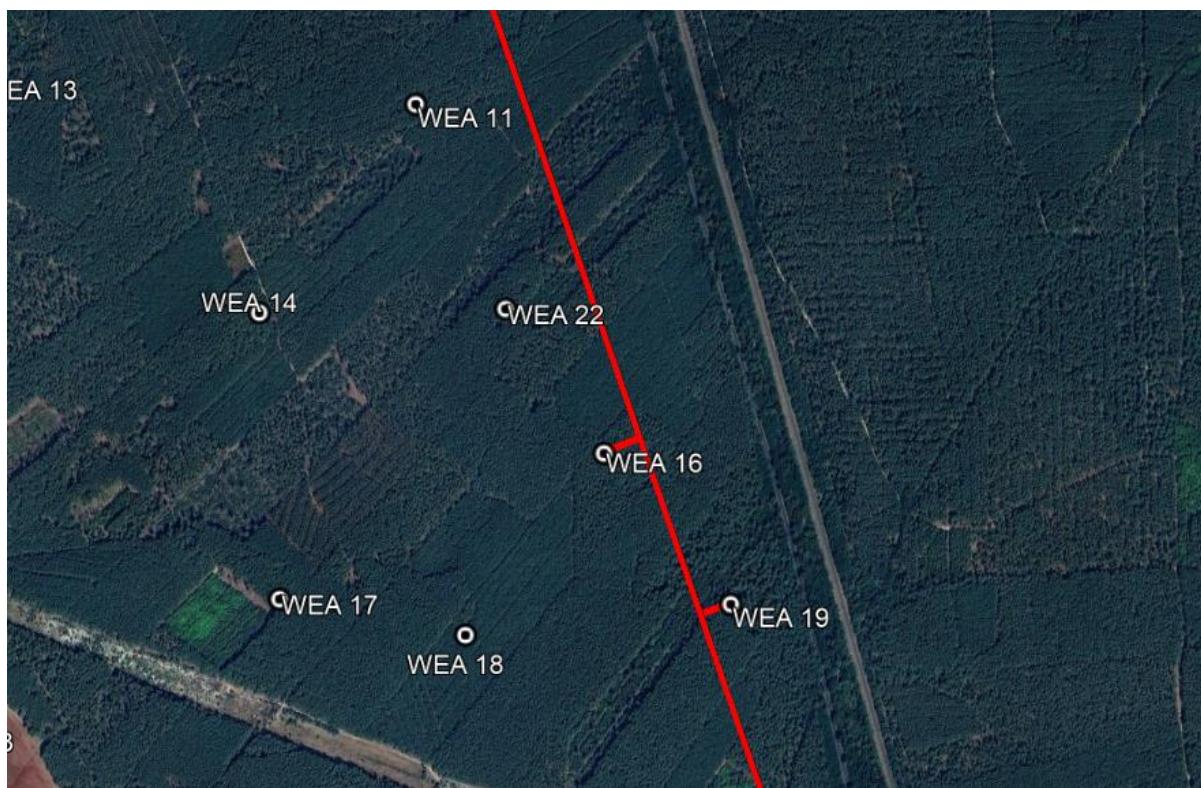
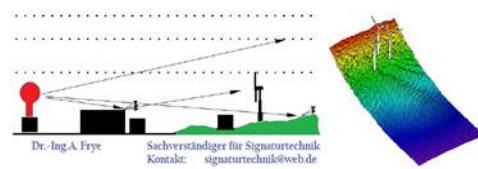
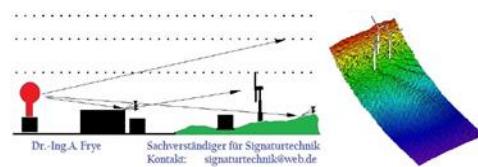


Abbildung 4: Detail-Lagedarstellung der Richtfunkstrecke, rot gekennzeichnet, zu den geplanten WEA



Zur Lage der Richtfunkstrecke, vgl. Tabelle 1:

Länge: 7448m

Frequenz: 23,0 GHz

Höhenverlauf: Von Antenne Neuhof(Nord) : 95,1 m NN
bis Antenne Baruth/Mark(Süd): 103,2m NN

Höhendifferenz: Δ 8,1m. Von Nord nach Süd ansteigend

Fresnelzonenausdehnung:

Angaben stets für den Radius [m]

Maximale Ausdehnung beim Streckenmittelpunkt:

1. F-Zone: 4,93m; 2. F-Zone: 6,97m

Ausdehnung bei WEA 16: 1. F-Zone: 4,72m; 2. F-Zone: 6,64m

Ausdehnung bei WEA 19: 1. F-Zone: 4,55m; 2. F-Zone: 6,44

Bewertung des WEA-Standortes 16:

Distanz zur Antenne A(Nord): 4788m

Höhe der Strecke über Grund bei der WEA: 39,7m NN (100,3m ü. NN)

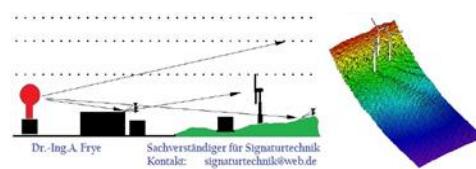
Abstand der WEA-Standsäule: 80,4m

Höhendifferenz der Nabe zur Streckenachse: Δ 139,3m

Gesamtdistanz der Nabe zur Streckenachse: Δ 160,8m

Distanz des Rotors zur Streckenachse: Δ 73,3m

Ausdehnung der 1. Fresnelzone am Ort der WEA: 4,72m



Bewertung des WEA-Standortes 19:

Distanz zur Antenne A(Nord): 5152m

Höhe der Strecke über Grund bei der WEA: 101,22m NN (35,8m ü. GND)

Abstand der WEA-Standsäule: 59,7m

Höhendifferenz der Nabe zur Streckenachse: Δ 143,1m

Gesamtdistanz der Nabe zur Streckenachse: Δ 155,05m

Distanz des Rotors zur Streckenachse: Δ 67,5m

Ausdehnung der 1. Fresnelzone am Ort der WEA: 4,55m

- Die Maßangaben beziehen sich auf die Achse der WEA-Standsäule sowie die Achse der Richtfunkstrecke.

Die nachfolgende Abbildung 5 verdeutlicht die vorstehend aufgeführten Parameter. Die weiße Linie in der Abbildung kennzeichnet dabei den Abstand zwischen der 1. Fresnelzone und dem Rotorkreis.

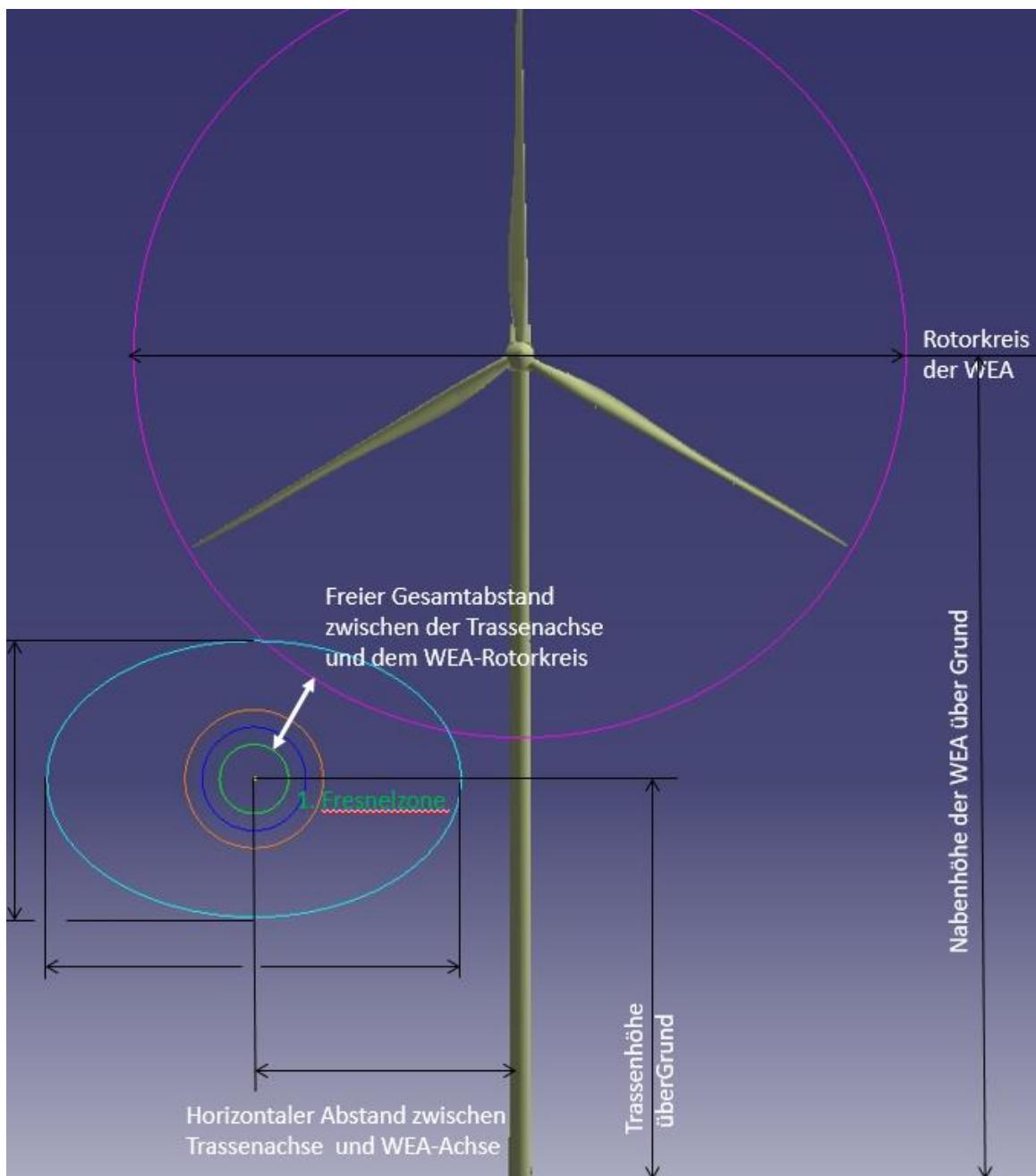


Abbildung 5: Systemdarstellung der WEA in Bezug auf die östliche Richtfunkstrecke der Fa. Vodafone. Hier ist eine Rotorstellung angenommen, die die ungünstigste Rotororientierung mit maximaler lateraler Ausdehnung annimmt.

Farbige Kreise= 1.(grün) und 2. (dunkelblau) Fresnelzone der Richtfunkstrecke

Weisse Strecke= Gegebener freier Abstand, um störwirksamen Beeinträchtigungen auszuschließen

Gesamtbeurteilung/Zusammenfassung der Ergebnisse:

Geprüft wurden die WEA 16 sowie die WEA 19. Die WEA 19 zeigt von der gesamten WP-Planung die stärkste Betroffenheit gegenüber dieser Richtfunkstrecke aufgrund der geringsten Abstände zum Richtfunkstreckenverlauf.

Durch die seitlichen Abstände gegenüber der Richtfunkstrecke sowie die gegenüber der Richtfunkstrecke deutlich höheren Nabenhöhen ergeben sich schräg im Raum gemessen bei diesen im Detail überprüften WEA 16 und 19 jeweils deutlich größere freie Gesamt-abstände zwischen den Strukturen der WEAs, gebildet aus der Standsäule sowie dem Rotor, gegenüber den Ausdehnungen der 1.und der 2. Fresnelzone.

Alle anderen geplanten WEA zeigen deutlich größere seitliche Abstände zur Richtfunkstrecke. Sie erfüllen ebenfalls die Bedingungen der 1. und der 2. Fresnelzone.

Eine Beeinträchtigung dieser Hochfrequenz-Übertragungstrecke durch die WP-Planung Mückendorf kann damit vollständig ausgeschlossen werden.

Zusätzlicher Handlungsbedarf für die geplanten Windenergieanlagen des Referenzgutachtens G 28-04-2025 besteht im Zusammenhang mit der östlichen Richtfunkstrecke der Fa. Vodafone nicht.

Die Ergebnisse und Empfehlungen des Gutachtens G 28-04-2025 bleiben auch unter Berücksichtigung der östlichen Richtfunkstrecke der Fa. Vodafone unverändert gültig. Alle Ergebnisse bleiben gültig sofern die Höhenänderungen bei den Bodenpunkten kleiner als 2 m bleiben; Standortänderungen dürfen maximal um 2m variieren.

Gern steht der Unterzeichner für Rückfragen hierzu zur Verfügung.

Mit freundlichem Gruß



Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger
für Hochfrequenz- und Signaturtechnik

Radarsignaturtechnische Beratung
für die Luftfahrt — Sachverständiger