ARCHE Systeme GmbH

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT

Bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung (BNK) von Windenergieanlagen

27. Windenergietage
Linstow, 07.11.2018

Vorstellung

Joachim Ristau

- Diplom-Informatiker, UniBw München, Abschluss 1987
- Eigentümer und Geschäftsführer der ARCHE Systeme GmbH
- Seit 1993 im Unternehmen

ARCHE Systeme GmbH, Wilhelmshaven

- Maritime Informationstechnik
- Navigationssysteme für die Marine und zivile Schifffahrt
  Radarsysteme, Elektronische Seekarten (ECDIS), AIS
- Netzwerk- und Kommunikationslösungen
- Hardware- und Softwareentwicklung
- Kooperationspartner von ENERCON für die Entwicklung eines radarbasierten Systems für die bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung von Windenergieanlagen (BNK)

Anforderungen der AVV des BMVI 26.08.2015 (Anhang 6, BNK)

- Unabhängig von der technischen Ausstattung der Luftfahrzeuge
- Transpondertechnik ist als Ergänzung zulässig
- Berechnung der Dämmerungszeiten
- Steuerung aller Systemkomponenten
- Erfassung von Luftfahrzeugen
- Selbstdiagnose zur ständigen Prüfung der Systemintegrität
- Aufzeichnung des Systemzustands für mindestens 30 Tage
- Ansteuerung der Befeuerung
- Nachtkennzeichnung darf abgeschaltet werden, wenn
  - die Systemintegrität gegeben ist und
  - sich kein relevantes Luftfahrzeug im Wirkungsraum befindet

Relevantes Luftfahrzeug im Wirkungsraum (Anhang 6, BNK)

Relevantes Luftfahrzeug

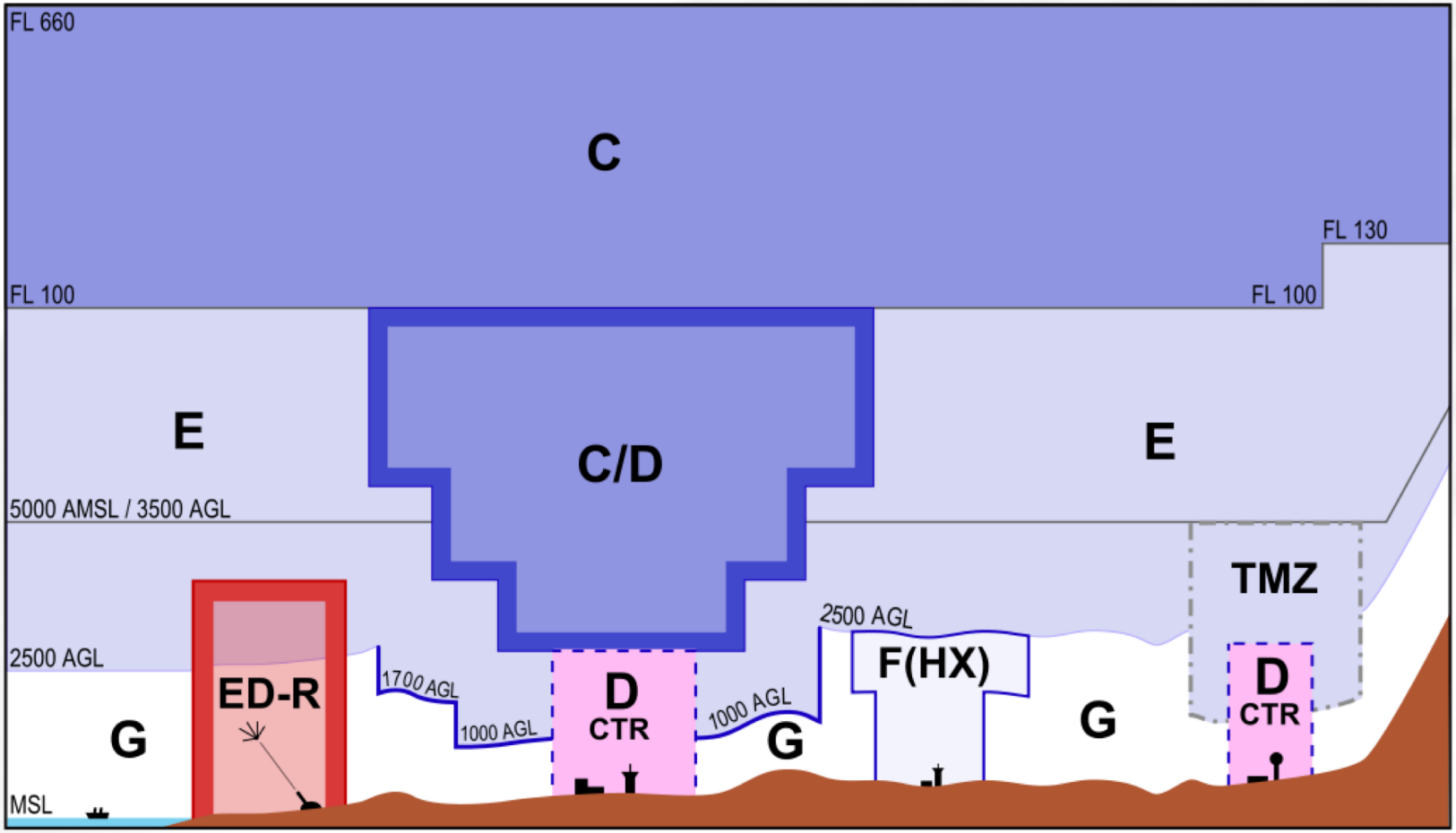
- Luftfahrzeuge, die nach Sichtflugregeln bei Nacht (NVFR) den Luftraum der Klasse G in Sichtflugbedingungen (VMC) nutzen dürfen.
- Zulässige Geschwindigkeit plus 50 Knoten
- Im Nachttiefflugsystem der Bundeswehr: 550 kn, 4 m^2 RCS

Wirkungsraum um jedes Hindernis

- +/- 15° um das Hindernis
- im Radius von mindestens 4000 m
- bis zu einer Höhe von mindestens 600 m (2.000 ft)
- Zu berücksichtigen sind geographische Rahmenbedingungen wie Abschattungen durch Berge, Bäume, Bauwerke, Relief etc.

Hinweis: Mindesthöhe vom Boden zur Unterscheidung von Lfz und Kfz ist in der AVV nicht definiert

Luftraumstruktur Deutschland



Anforderungen an das ARCHE-BNK-System

- AVV Anhang 6
- Erfüllung von Genehmigungsauflagen für einen WP
  → hoher Grad an Erkennung des freien Luftraums
- Geringe Fehlerquote (im Sinne eines unnötigen Einschaltens der Befeuerung) durch 3D-Erfassung der Luftfahrzeuge
  → Objekte in der Luft und am Boden werden unterschieden
  → Luftfahrzeuge über 600 m bleiben unberücksichtigt
- Ergänzende Nutzung der ADS-B Transpondersignale
- Schaltung der Befeuerung über die SCADA-Schnittstelle
- Modularer Aufbau, relativ einfache Montage
- Individuelle Anpassung an einen konkreten WP durch Auswahl der Module und Konfiguration der Software
- Aufzeichnung der Luftlage
- Offene, konfigurierbare Schnittstellen, LTE/VPN-Wartungszugang
- Wartungskonzept, Systemüberprüfung alle 6 Monate gemäß AVV
  → soweit möglich Wartung durch WEA-Personal

Radartechnik für ein BNK-System (BNetzA)

- AVV Bedingungen sind mit Primärradartechnik erfüllbar
- Die BNetzA hat nach eigenem Entwurf und Stellungnahmen der potentiellen Anbieter von BNK und des BWE AK Kennzeichnung am 13.07.2017 die Zuteilungsregelungen für BNK veröffentlicht
- X-Band Radare 8800-9000 MHz und 9200-9500 MHz
- Strahlungsleistung EIRP maximal 800 kW
- Duty Cycle je nach Sendeverfahren bis zu 20%
- FMCW-Radare (Dauerstrich) werden nicht genehmigt
- Funkverträglichkeit mit anderen Systemen
- Einschränkungen in der Nähe von Flughäfen, Flussradaren usw.

→ Das ENERCON-ARCHE-BNK erfüllt alle Bedingungen der BNetzA und hat eine Strahlungsleistung EIRP von nur 5 kW.

Systementwurf Prototyp WP Bagband

Nutzung vorhandener WP-Infrastruktur

1 Radarsender auf WEA

3 Radarempfänger auf WEA

2x3 Radarempfänger 120° an WEA-Türmen, ~8 m

GPS-Empfänger für die Zeitsynchronisation

ABS-B Empfänger

Ethernet-Netzwerk mit LTE/ VPN-Link für Fernwartung

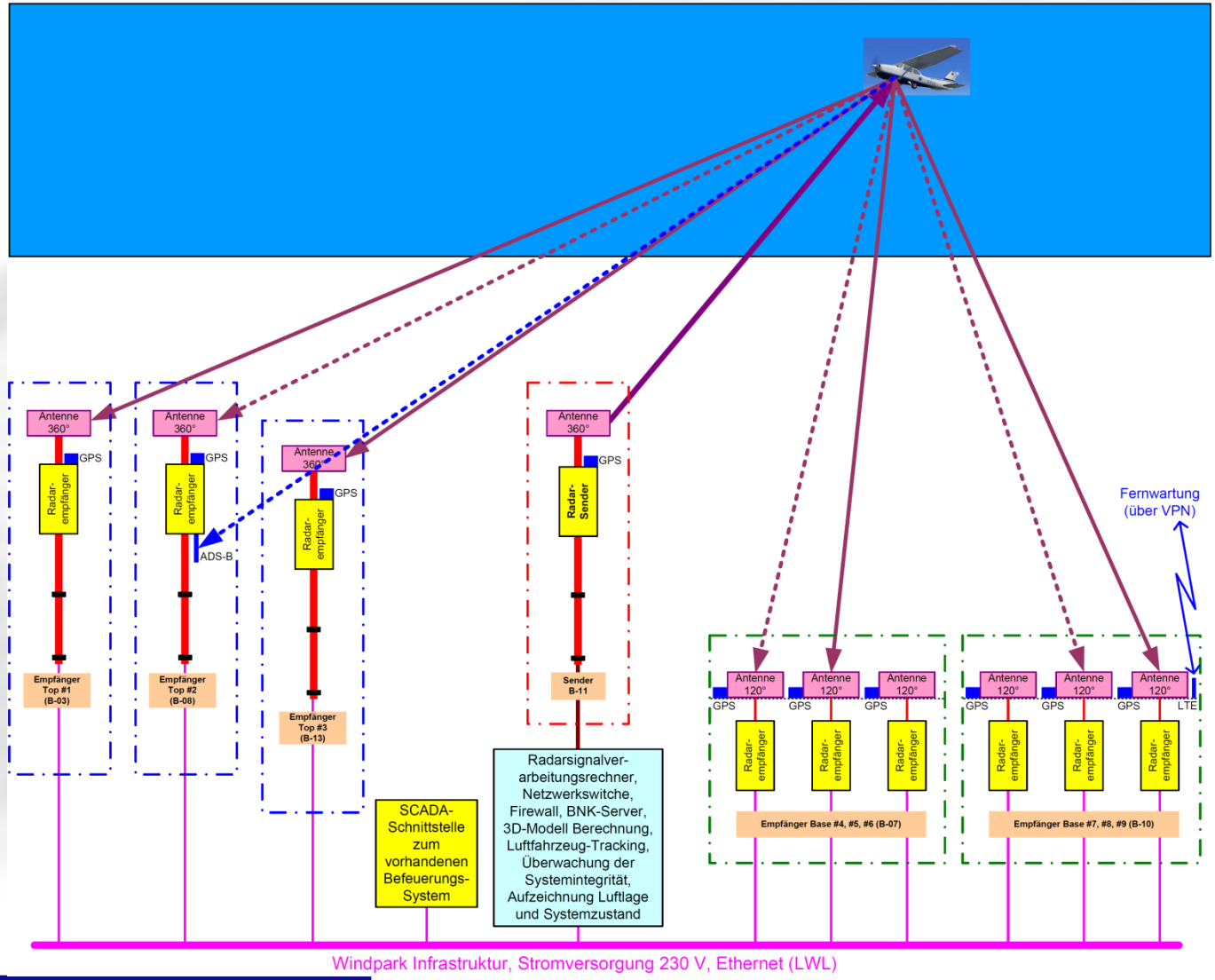
Radarsignalverarbeitung

Luftfahrzeugerkennung mit Triangulation+

Luftfahrzeugtracking

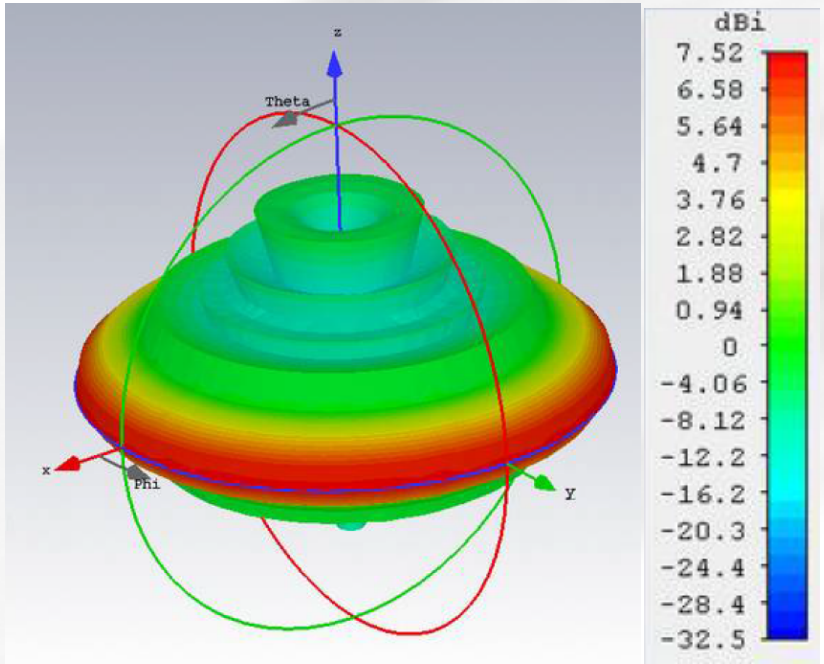
BNK-Server

SCADA-Schnittstelle



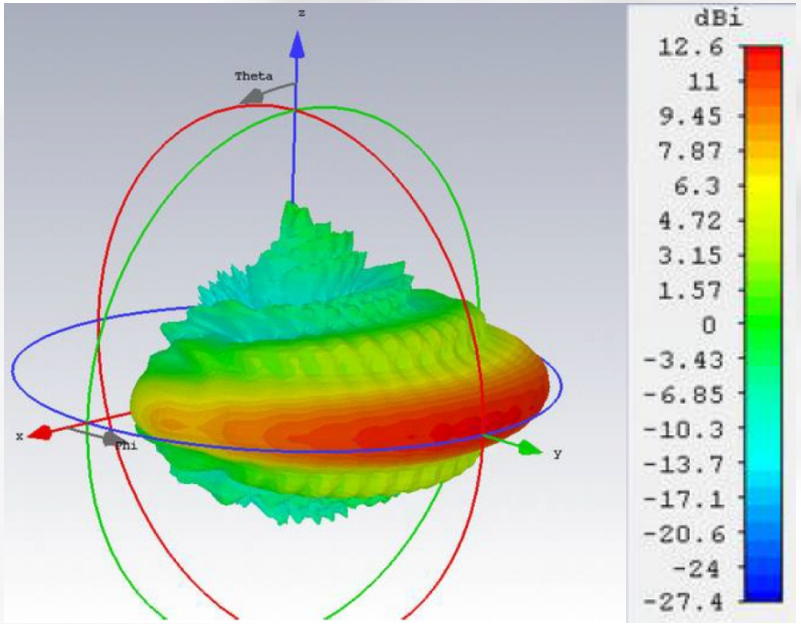
Radarantenne auf WEA für Sender/Empfänger (Top)

Doppelt konischer Aufbau
Horizontal 360°
Vertikal +/- 15° ca. 7 dBi



Radarantennen am WEA-Turm für Empfänger (Base)

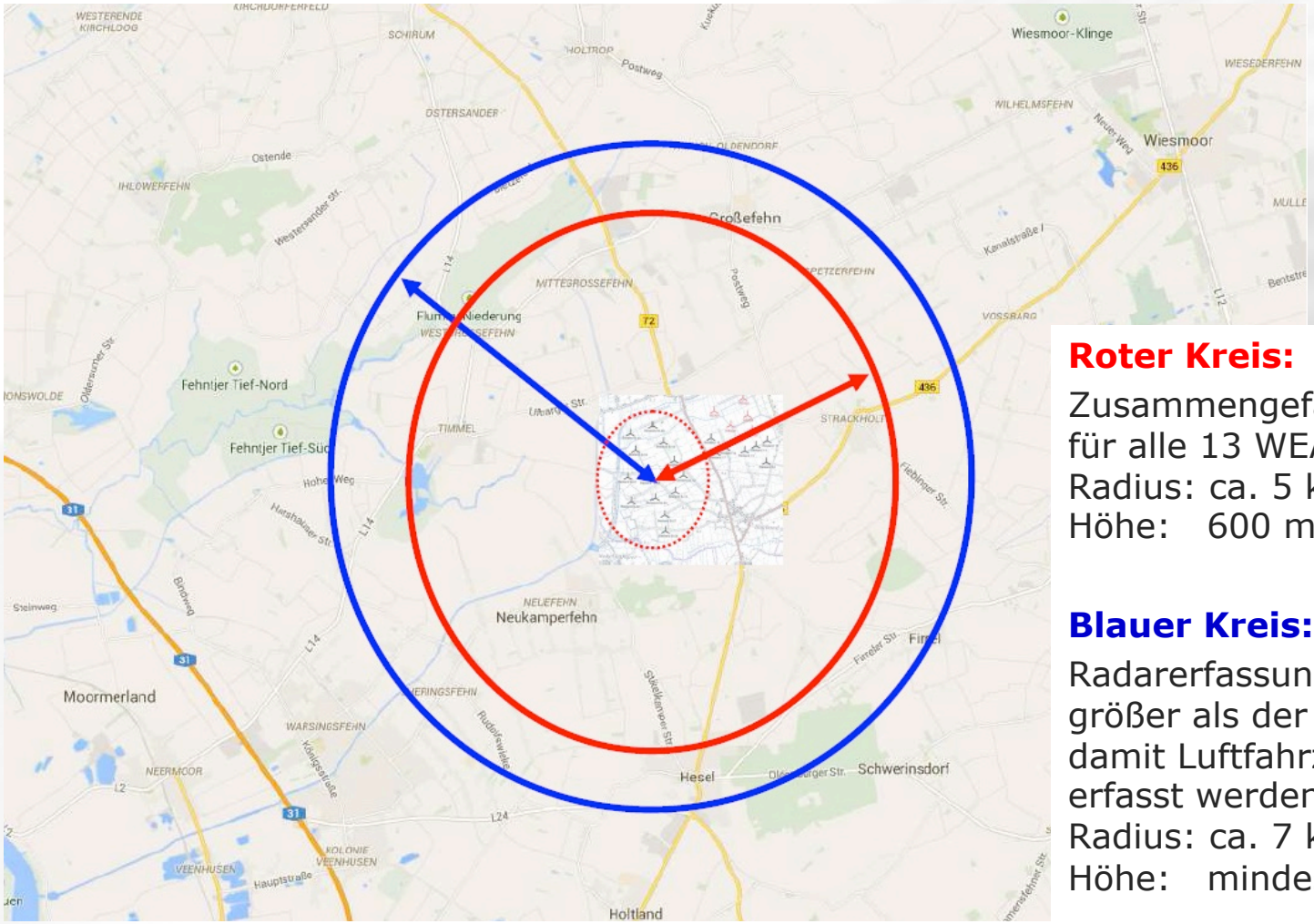
Doppelt konischer Aufbau
3 Antennen und Empfänger je Turm
Horizontal 120°
Vertikal +/- 15° ca. 12 dBi



Radartechnik des ENERCON-ARCHE-BNK-Systems

- X-Band 8800-9000 MHz und 9200-9500 MHz, konfigurierbar, alle zulässigen Frequenzen können genutzt werden
- Pulsradar mit Frequenzspreizverfahren
- Eine statische Sendeantenne, ca. 6-9 statische Empfangsantennen
- Zeitsychronisation über GPS
- 5 Messungen pro Sekunde, Messzyklus 80µs = 2 x 12 km
- Messungstakt der Empfänger 20 ns = 6 m (horizontale Auflösung)
- 3D-Positionsbestimmung durch Triangulation+
- Nutzung des Dopplereffekts für sich bewegende Objekte
- Trackingsystem zur Objektverfolgung
- Vertikale Messgenauigkeit ca. 20 – 50 m
- Ständige Beobachtung von Referenzzielen (Systemintegrität)
- Schnittstelle zum BNK-Server und weiter zum SCADA-System

Windpark Bagband in Ostfriesland

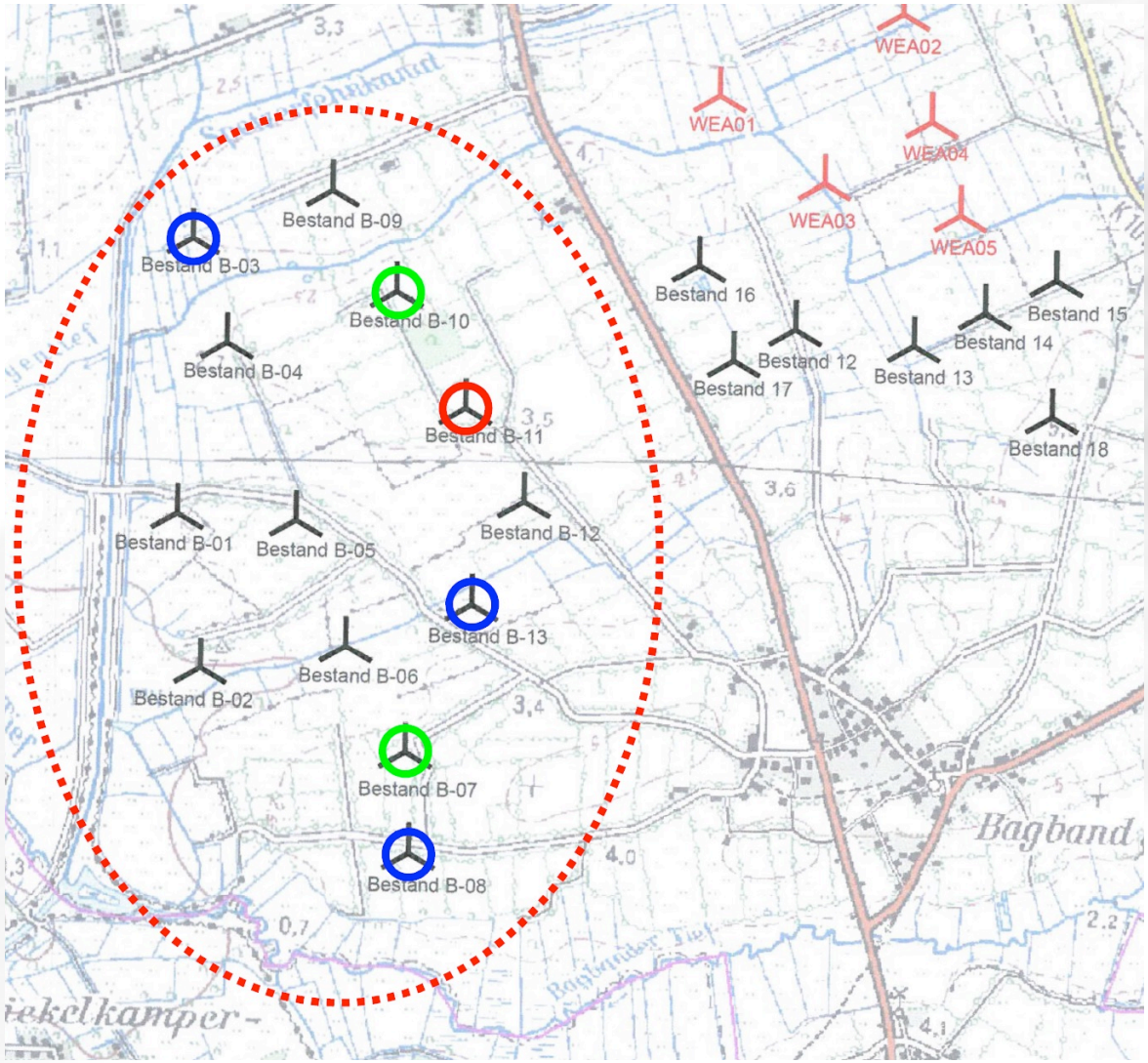


Roter Kreis:

Zusammengefasster Wirkungsraum für alle 13 WEA des Windparks
Radius: ca. 5 km
Höhe: 600 m

Blauer Kreis:

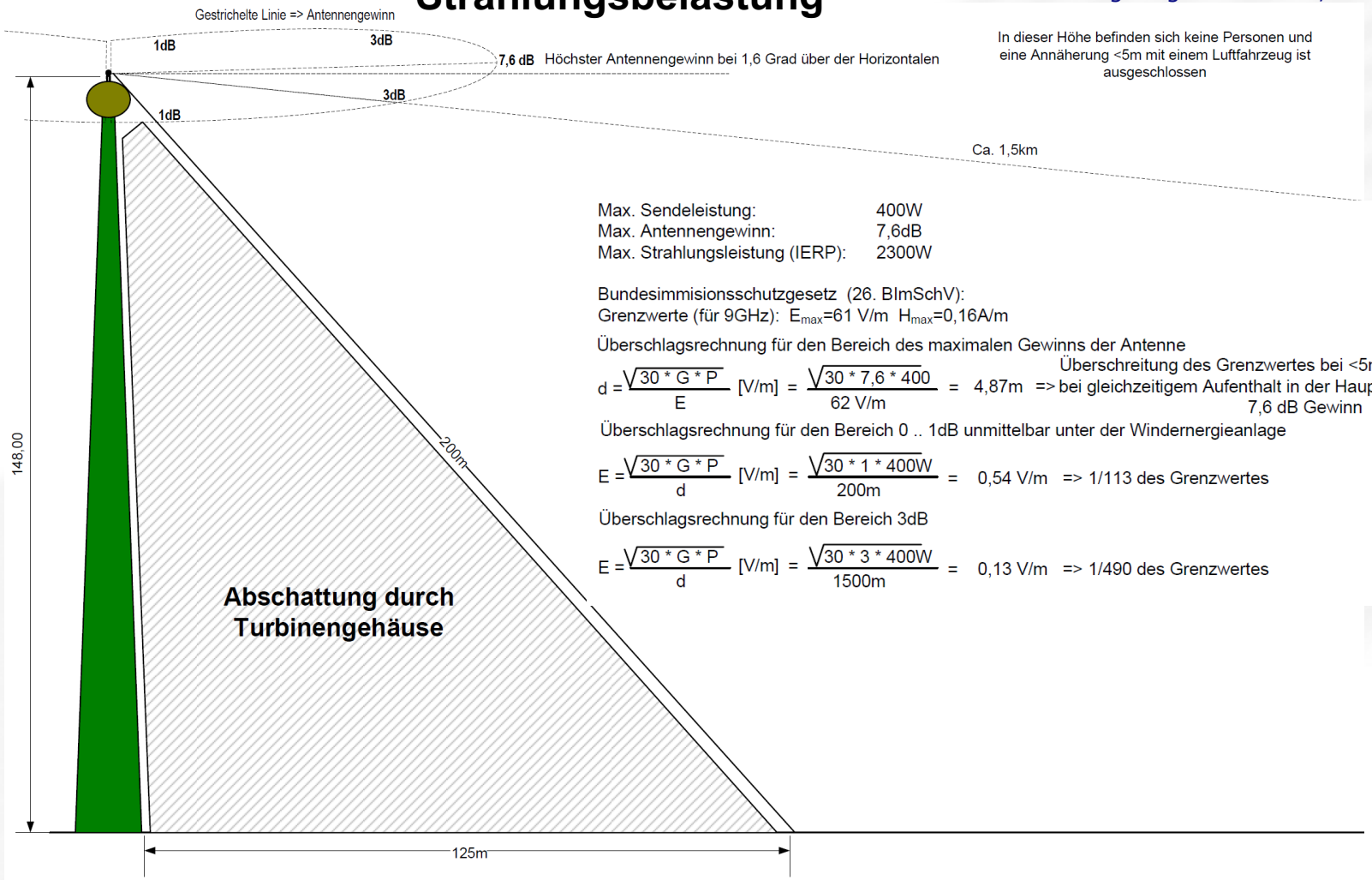
Radarerfassungsbereich, größer als der Wirkungsraum, damit Luftfahrzeuge rechtzeitig erfasst werden können
Radius: ca. 7 km
Höhe: mindestens 600 m



Sende- und Empfangsstationen im Windpark Bagband

- Sendestation Top (Höhe über NN: B-11: 145 m)
- Empfangsstationen Top (Höhe über NN: B-13: 108 m, B-03 und B-08: 145 m)
- Empfangsstationen Base (Höhe über NN: B-07 und B-10: 10 m)

Strahlungsbelastung



In dieser Höhe befinden sich keine Personen und eine Annäherung <5m mit einem Luftfahrzeug ist ausgeschlossen

Max. Sendeleistung:	400W
Max. Antennengewinn:	7,6dB
Max. Strahlungsleistung (IERP):	2300W

Bundesimmisionsschutzgesetz (26. BImSchV):
Grenzwerte (für 9GHz): E_{max}=61 V/m H_{max}=0,16A/m

Überschlagsrechnung für den Bereich des maximalen Gewinns der Antenne

$$d = \frac{\sqrt{30 * G * P}}{E} \text{ [V/m]} = \frac{\sqrt{30 * 7{,}6 * 400}}{62 \text{ V/m}} = 4{,}87\text{m}$$

=> Überschreitung des Grenzwertes bei <5m Abstand zum Sender bei gleichzeitigem Aufenthalt in der Hauptkeule der Antenne mit 7,6 dB Gewinn

Überschlagsrechnung für den Bereich 0 .. 1dB unmittelbar unter der Windernergieanlage

$$E = \frac{\sqrt{30 * G * P}}{d} \text{ [V/m]} = \frac{\sqrt{30 * 1 * 400\text{W}}}{200\text{m}} = 0{,}54 \text{ V/m}$$

=> 1/113 des Grenzwertes

Überschlagsrechnung für den Bereich 3dB

$$E = \frac{\sqrt{30 * G * P}}{d} \text{ [V/m]} = \frac{\sqrt{30 * 3 * 400\text{W}}}{1500\text{m}} = 0{,}13 \text{ V/m}$$

=> 1/490 des Grenzwertes

Fazit: Ein Aufenthalt für Fremdpersonen in einem Expositionsbereich, der den Grenzwert überschreiten würde, ist faktisch nicht möglich. Deshalb wird für dieses System eine Standortbescheinigung erteilt werden, bei der u.A. diese Grenzwertuntersuchung durchgeführt wird.

Projektverlauf für den Prototyp Bagband

Entwicklungsphase

- Entwicklung der Hardware- und Softwarekomponenten unter Berücksichtigung der Vorgaben der AVV und der BNetzA sowie der eigenen Anforderungen an das BNK-System
- Festlegen der Standorte für Sender und Empfänger
- Vorbereitung der mechanischen und elektrischen Schnittstellen
- Entwicklung der SCADA-Schnittstelle
- Test der einzelnen Systemmodule
- Montage des Systems
- Testflüge
- Ggf. technische Verbesserungen und Wiederholung der Tests
- Gesamttest und interner Funktionsnachweis
- Anerkennungsverfahren bei der DFS, Stufe 1 und Stufe 2
- Zustimmung durch die Luftfahrtbehörde
- Inbetriebnahme

Neue Projekte mit dem ENERCON-ARCHE-BNK-System

Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme beim Windpark Bagband können neue Projekte mit dem ARCHE-BNK-System wie folgt geplant werden:

- Festlegen der Standorte für Sender und Empfänger in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse bei Nutzung vorhandener Infrastruktur
- Radius der Wirkungsräume max. 7 km, Radarbereich max. 8 km
- Vorbereitung der mechanischen und elektrischen Schnittstellen
- Herstellen der SCADA-Schnittstelle
- Montage des Systems
- Test der einzelnen Systemmodule, Testflüge
- Ggf. technische Verbesserungen und Wiederholung der Tests
- Gesamttest und interner Funktionsnachweis
- Anerkennungsverfahren bei der DFS, Stufe 2
- Zustimmung durch die Luftfahrtbehörde
- Inbetriebnahme

Nullserie ENERCON-ARCHE-BNK-System

Parallel zur Fertigstellung des Prototypsystems für den WP Bagband wird eine Nullserie von fünf ARCHE-BNK-Systeme entwickelt und gefertigt. Merkmale der Weiterentwicklung des Prototypsystems:

- Höherer Grad der Modulintegration, d. h.
  - Server <-> LWL <-> Sender -> Antenne
  - Antennen -> Empfänger <-> LWL <-> Server
  - ADS-B -> Server
  - Server <-> LWL <-> SCADA
  - Server <-> Fernwartung
- leichtere Montage der Komponenten,
- Steckverbindungen statt Kabeleinführungen,
- Base-Antennen werden höher am Turm montiert, so dass in der Regel drei Base-Empfänger ausreichend sind,
- 19"-Rack für BNK-Server und andere zentrale Komponenten,
- Kostenersparnis gegenüber dem Prototyp und Zwischenschritt auf dem Weg zur Serienreife

Andere Lösungen für BNK-Systeme

Primärradare:
Drehende X-Band Radare, wie sie auf Schiffen oder für die Seeraum-überwachung verwendet werden:

- Montage an den WEA-Türmen, z. B. Vestas InteliLight mit ca. 8 km Reichweite
- Montage auf eigenem Mast, z. B. Quantec, TERMA-Radare mit ca. 15 km Reichweite
- Strahlungsleistung EIRP mit bis zu 800 kW (Maximalwert BNetzA)

Andere Lösungsansätze:

- Sekundärradar/ADS-B Transponder, zurzeit durch AVV nicht abgedeckt
- Akustische Kamera
- Passivradar, z. B. PARASOL mit Nutzung vorhandener HF-Strahlung