

# Transponder-basierte BNK

## *Systembeschreibung*

### *Protea BNK System 2.0*

*Protea Tech GmbH & Co. KG  
Sielminger Hauptstr. 15  
70794 Filderstadt*

Dokument ID	BNK Systembeschreibung
Version	2.0
Datum	5. Juli 2021
Status	Final
Freigabe	öffentlich

## Mitwirkende

Name	Datum	Rolle
Dr.-Ing. Matthias Schäfer	August 2020	Autor
Dipl. oec. Ingo Lange	August 2020	Autor
B. Eng. Fabian Schwizler	August 2020	Qualitätssicherung

## Änderungsprotokoll

Datum	Ver.	Status	Autor	Änderungen
6. August 2020	0.1	Entwurf	M. Schäfer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Initiale Version</li> </ul>
14. August 2020	0.1	Freigegeben	I. Lange	
15. Februar 2021	0.2	Zur Freigabe	M. Schäfer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D8 hinzugefügt</li> <li>• Änderungen Grafik</li> <li>• Kleine Korrekturen</li> </ul>
24. Februar 2021	0.3	Freigegeben	I. Lange	
7. März 2021	0.4	Freigegeben	M. Schäfer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dokumentenverzeichnis aktualisiert</li> </ul>
20. März 2021	1.0	Final	M. Schäfer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feedback Baumusterprüfstelle</li> </ul>
30. März 2021	1.1	Final	I. Lange	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formatierungen</li> </ul>
5. Juli 2021	2.0	Final	I. Lange	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ergänzung der Kriterien, ISO 9001, Grafiken</li> </ul>

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
1 Einleitung	5
1.1 Unternehmensprofile	5
1.1.1 Protea Tech GmbH & Co. KG	5
1.1.2 SeRo Systems GmbH	5
2 Hintergrund	6
2.1 Technologien in der Luftfahrt	6
2.1.1 Luftraumüberwachung und Kollisionsvermeidung	6
2.1.2 Ausrüstungsanforderungen in Deutschland	7
2.2 Transponder-basierte BNK	7
2.2.1 Allgemeines Funktionsprinzip	7
2.2.2 Positionsbestimmung	8
3 Anforderungen an das System	9
3.1 Zielerfassung	9
3.2 Sicherheit und Integrität	10
4 Systemübersicht	11
4.1 Allgemeine Funktionsweise	11
4.2 Vernetzung der Komponenten	12
4.3 Sicherstellung der Systemintegrität	14
5 Wartung und Betrieb	15
5.1 Wartung	15
5.1.1 Ende-zu-Ende Aktivierungstest	15
5.1.2 Überprüfung der Abdeckung	16
5.2 Betrieb	16
6 Zertifizierungen	16
7 Patentlizenz	16
8 Systembezogene Prüfkriterien	16
9 Weiterführende Dokumentation der Baumusterprüfung	17

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Transponder-basierte Luftraumüberwachung [Quelle: IVAO]	6
Abbildung 2: Wirkungsraum einer Windenergieanlage (nicht maßstabsgetreu)	9
Abbildung 3: Übersicht der Systemkomponenten	11
Abbildung 4: Übersicht BNK Netzwerk	12
Abbildung 5: Empfangsreichweite eines Sensors (Transponderempfänger)	13
Abbildung 6: GRX Sensorplattform	14

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der verfügbaren Lokalisierungsmethoden	8
-------------------------------------------------------------	---

# 1 Einleitung

Um die Akzeptanz von Windenergieanlagen in der Bevölkerung zu erhöhen, sollen gemäß dem Gesetz zur Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes, des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes, des Energiewirtschaftsgesetzes und weiterer energierechtlicher Vorschriften in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2549) Windenergieanlagen in Zukunft nur noch bedarfsgesteuert befeuert werden. Mit der Verabschiedung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen (AVV) am 14.02.2020 und der darauffolgenden Veröffentlichung im Bundesanzeiger am 30.04.2020 sind nun neben den kostenintensiven Aktiv- und Passivradar Lösungen auch Transponder-basierte BNK Systeme ab dem 01.05.2020 zugelassen.

In diesem Dokument wird das Transponder-basierte und baumustergeprüfte BNK System der Protea Tech vorgestellt und ein Überblick über das System und dessen Funktionsweise verschafft. Dazu werden zunächst im ersten Teil die zugrundeliegenden Technologien vorgestellt. Im zweiten Teil wird auf die spezielle Umsetzung der Transponder-basierten BNK bei der Protea Tech eingegangen. Weitere Details zu den einzelnen Systemkomponenten befinden sich in den entsprechenden Anhängen.

## 1.1 Unternehmensprofile

Das vorliegende Transponder-basierte BNK System wird von der Protea Tech bereitgestellt. Die Protea Tech verwendet zur Umsetzung des Transponder-basierten BNK Systems ein von der SeRo Systems entwickeltes System zur Luftraumüberwachung und Multilateration.

### 1.1.1 Protea Tech GmbH & Co. KG

Die Protea Unternehmensgruppe betreibt seit vielen Jahren Windenergieanlagen und stellt Steuerungen für die Energiewirtschaft her. Durch die lange Branchenkenntnis und die Steuerung von Windparks, Solarparks, BHKWs, Wasserkraftanlagen und Batteriespeichern, besitzt sie den Kundenkontakt und das technische Knowhow zur Anbindung von BNK Systemen an Windparks, die Ausgestaltung von Netzwerken in Windparks und die Administration von dezentralen Systemen. Das Qualitätsmanagement der Protea Tech ist durch den TÜV SÜD nach ISO 9001 zertifiziert.

### 1.1.2 SeRo Systems GmbH

Die SeRo Systems GmbH mit Sitz in Frankfurt wurde 2014 gegründet und hat sich auf die großflächige Überwachung der Funkfrequenzen in der Luftfahrt und auf das Thema Cyber-Sicherheit in der Luftraumüberwachung spezialisiert. SeRo Systems vereint dabei Expertisen und langjährige Erfahrungen in den Bereichen Luftraumüberwachung, Cyber-Sicherheit, Big Data, Software-defined Radios und Hardwareentwicklung. Referenzen sind der Aufbau eines europaweiten Netzes zur Überwachung der 1030 MHz und 1090 MHz Frequenzbänder im Auftrag von EUROCONTROL, die Implementierung und der Betrieb eines der weltweit größten Netzwerke von Mode S und FLARM Empfängern (OpenSky Network<sup>1</sup>) und die Entwicklung und der Vertrieb der GRX1090 Sensorplattform, welche von diesem BNK System zum Empfang der Transpondersignale verwendet wird.

---

<sup>1</sup> <https://opensky-network.org>

## 2 Hintergrund

### 2.1 Technologien in der Luftfahrt

#### 2.1.1 Luftraumüberwachung und Kollisionsvermeidung

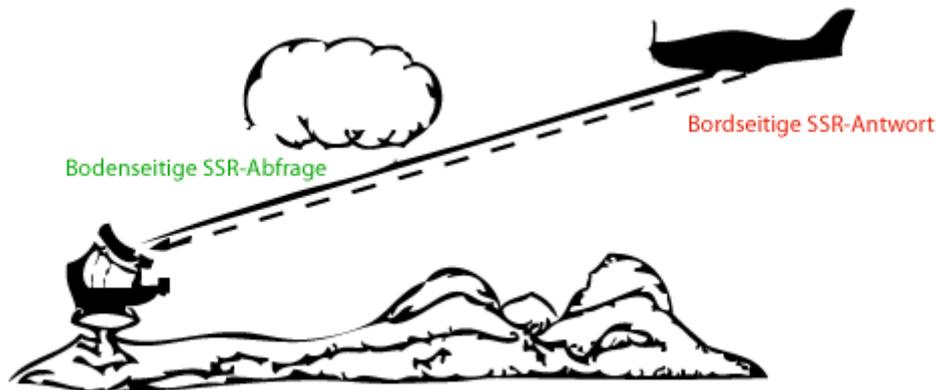


Abbildung 1: Transponder-basierte Luftraumüberwachung [Quelle: IVAO]

In der zivilen Luftfahrt werden zur Luftraumüberwachung heute primär Technologien eingesetzt, welche auf dem sogenannten Sekundärradar basieren. Wie in Abbildung 1 dargestellt, werden beim Sekundärradar mit einer rotierenden Antenne auf der Frequenz 1030 MHz Abfragesignale in alle Richtungen ausgesendet. Befindet sich ein Luftfahrzeug in diesem rotierenden Antennenstrahl und empfängt ein solches Abfragesignal, antwortet der sogenannte Transponder im Luftfahrzeug mit einem Antwortsignal auf der Frequenz 1090 MHz. Über die Senderichtung und die Dauer bis die Antwort bei der Bodenstation eintrifft, kann das Bodenradar die Richtung und die Distanz des Luftfahrzeugs bestimmen. Um das Lagebild zu vervollständigen, enthält das Antwortsignal weitere Informationen wie zum Beispiel die barometrische Höhe und den Transpondercode (Squawk). Welche Information vom Transponder übertragen werden soll, legt der sogenannte Modus (bzw. englisch *Mode*) der Abfrage fest. In der zivilen Luftfahrt werden aktuell die Modi A (Squawk), C (barometrische Höhe) und S (selektive Abfragen) verwendet. Da die Antwortsignale von Mode A und C im Allgemeinen nicht zu unterscheiden sind, fasst man diese oft unter der Bezeichnung Mode A/C zusammen.

Mode S ist der neueste und mächtigste Modus und kann Mode A/C komplett ersetzen. Innerhalb von Mode S werden Abfragen noch einmal nach *Uplink Format* (UF) und Antworten nach *Downlink Format* (DF) unterschieden. Je nach UF oder DF sind entsprechend andere Informationen in den Signalen enthalten. Im Gegensatz zu Mode A/C erlaubt Mode S Abfragen selektiv nur an bestimmte Transponder zu stellen. Einzelne Transponder werden dabei über eine global eindeutige 24-bit Nummer identifiziert und angesprochen, welche fest in jeden Mode S Transponder einprogrammiert ist. Um nun einen Transponder selektiv abfragen zu können, muss eine Bodenstation das Ziel zunächst initial erfassen. Dies geschieht über spezielle ungezielte Abfragen, sogenannte *All Call Requests* (UF 11). Alle Transponder, die vorher noch nicht explizit von der Bodenstation über eine Erfassung informiert wurden (ein sogenannter *Lock Out*) antworten auf solche Abfragen mit einem *All Call Reply* (DF 11) und können damit von der Bodenstation detektiert werden. Für den Fall, dass eine Bodenstation das Antwortsignal oder der Transponder die Abfrage nicht erfolgreich empfangen konnte, sendet jeder Mode S Transponder noch zusätzlich alle 0,8 bis 1,2 Sekunden ein weiteres DF 11 Signal aus, der sogenannte *Acquisition Squitter*. Dieser erlaubt es, Empfängern in der näheren Umgebung die Anwesenheit eines Luftfahrzeugs auch ohne vorherige Abfrage zu detektieren.

Seit Juni 2020 müssen alle Luftfahrzeuge, die schneller als 250 Knoten fliegen können oder ein Höchstabfluggewicht von mehr als 5,7 Tonnen haben, zusätzlich zu Mode S noch Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) unterstützen. ADS-B sieht vor, dass Luftfahrzeuge mit GPS

Empfängern ausgestattet sind und ihre aktuelle Position, Geschwindigkeit und weitere Parameter regelmäßig und ohne vorherige Abfrage über DF 17 Mode S Signale aussenden. Dies erlaubt jedem Empfänger am Boden, in der Luft oder im Weltraum den Luftverkehr passiv und mit hoher Präzision zu verfolgen.

Um das Risiko für Kollisionen in der Luft zu verringern, müssen Luftfahrzeuge je nach Ausrüstungsanforderung (s.u.) in der Lage sein, andere Luftfahrzeuge zu detektieren und sich mit diesen in einem Konfliktfall zu koordinieren. Dazu werden Luftfahrzeuge mit dem Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS) ausgestattet. TCAS verwendet spezielle Mode S Abfragen (UF 0) um Luftfahrzeuge in der Nähe zu beobachten und potentielle Konflikte frühzeitig zu erkennen. Kommen sich zwei Luftfahrzeuge dennoch zu nahe, tauschen die TCAS Einheiten Informationen über UF 16 und DF 16 aus, mit dem Ziel eine Lösung für den Konflikt zu finden und den Piloten entsprechende Anweisungen zu geben, sogenannte *Resolution Advisories*.

### 2.1.2 Ausrüstungsanforderungen in Deutschland

Welche Luftfahrzeuge mit Mode S, TCAS und ADS-B ausgestattet werden müssen, wird auf europäischer Ebene von der Europäischen Kommission festgelegt und in den Mitgliedstaaten umgesetzt. In Deutschland sind die Anforderungen an die Ausrüstung von Luftfahrzeugen durch die Verordnung über die Flugsicherungs-ausrüstung der Luftfahrzeuge (FSAV) geregelt. Diese unterscheidet dabei zwischen Instrumentenflugregeln (engl. *Instrument Flight Rules*; IFR) und Sichtflugregeln (engl. *Visual Flight Rules*; VFR). Luftfahrzeuge, welche nach IFR fliegen, müssen mit Transpondern ausgestattet sein, welche sowohl Mode A/C als auch Mode S unterstützen. Auch TCAS ist für Flüge nach IFR zwingend erforderlich. Bei Sichtflügen variieren die Bestimmungen je nach Luftraum und Art des Luftfahrzeugs. Für dieses Dokument relevant ist dabei die Bestimmung, dass bei Sichtflügen bei Nacht das Luftfahrzeug mit einem Transponder ausgerüstet sein muss, welcher sowohl Mode A/C als auch Mode S unterstützt. Der Begriff "Nacht" ist dabei EU-weit einheitlich definiert als die Zeit zwischen dem bürgerlichen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang<sup>2</sup>. Eine TCAS Ausrüstung ist für Sichtflüge nicht allgemein verpflichtend.

## 2.2 Transponder-basierte BNK

### 2.2.1 Allgemeines Funktionsprinzip

Wie oben beschrieben senden Luftfahrzeuge, welche mit einem funktionsfähigen und aktivierten Sekundärradar-Transponder ausgestattet sind, regelmäßig Signale aus. Dies geschieht entweder automatisch oder ausgelöst durch Abfragen von Sekundärradar-Stationen der Flugsicherung oder durch die Kollisionsvermeidungssysteme anderer Luftfahrzeuge. Sensoren mit Sichtverbindung zum Luftfahrzeug empfangen dessen Transpondersignale und messen dabei physikalische Eigenschaften wie die Ankunftszeit oder den Pegel des Signals. Das BNK-System bestimmt dann anhand der empfangenen Signale und deren Eigenschaften die Position, die Geschwindigkeit und die Flugrichtung des Luftfahrzeugs. Anhand dieser Parameter und den Dimensionen und Positionen der Windenergieanlagen berechnet das BNK-System den entsprechenden Wirkungsbereich und prüft, ob das Luftfahrzeug in diesen eingetreten ist. Dabei berücksichtigt das System etwaige Unsicherheiten in den Daten und Latenzen und extrapoliert die Position des Luftfahrzeugs entsprechend seiner Bewegungsinformationen. Stellt das BNK-System einen Eintritt in den Wirkungsbereich fest, sendet es ein entsprechendes Aktivierungssignal und die Nachtkennzeichnungen der betroffenen Windenergieanlagen werden eingeschaltet. Solange sich mindestens ein Luftfahrzeug im Wirkungsbereich der Windenergieanlage befindet bleibt die Befehlssteuerung aktiviert.

---

<sup>2</sup> Der bürgerliche Sonnenunter- und -aufgang sind die Zeitpunkte, bei denen sich die Mitte der Sonnenscheibe 6° unter dem Horizont befindet.

## 2.2.2 Positionsbestimmung

*Tabelle 1: Vergleich der verfügbaren Lokalisierungsmethoden*

Methode	Genauigkeit	Integrität	Verfügbarkeit	Systemanforderungen
ADS-B	sehr hoch	mittel	mittel	niedrig
MLAT	sehr hoch	Sehr hoch	hoch	hoch
Signalpegel	sehr niedrig	sehr niedrig	sehr hoch	niedrig
Signalwinkel	mittel	hoch	sehr hoch	sehr hoch

Sofern das Luftfahrzeug mit ADS-B ausgestattet ist, können die benötigten Parameter direkt aus den Informationen, welche digital in die Signale kodiert sind, entnommen werden. Diese digitale Übertragung der Positions- und Bewegungsinformationen hat den Vorteil, dass ihre Genauigkeit und Verfügbarkeit unabhängig ist von der Geometrie oder der Anzahl der Empfänger. Unterstützt die Bordelektronik eine entsprechende Genauigkeit bei der Positionierung, ist ADS-B die genaueste Methode zur Detektion von Luftfahrzeugen.

Werden die Transpondersignale eines Luftfahrzeugs von mindestens 4 Sensoren empfangen, kann die Position des Senders über die Unterschiede in den gemessenen Signalankunftszeiten bestimmt werden. Die Geschwindigkeit und Flugrichtung können dabei implizit aus sequentiellen Positionsbestimmungen abgeschätzt werden. Die Genauigkeit dieser Methode hängt dabei vom Messfehler bei der Ankunftszeitbestimmung und der Geometrie der Sensoren und des Senders ab. Bei guten Bedingungen kann diese Methode eine Genauigkeit erzielen, welche vergleichbar zu ADS-B ist. Allerdings ist diese Methode im Gegensatz zu ADS-B von der 4-fachen Abdeckung und der Geometrie abhängig.

Die ungenaueste Methode ist die Distanzbestimmung über den Signalpegel. Hier wird anhand des gemessenen Signalpegels und einem angenommenen Modell für das Verhalten des Pegels (z.B. Freiraumdämpfung) eine Abschätzung über die Distanz zwischen Sender und Empfänger berechnet. Der Signalpegel wird allerdings von sehr vielen schwer vorhersagbaren Faktoren beeinflusst, was diese Methode sehr anfällig für Messfehler macht. Da fast alle äußeren Faktoren zu einer Minderung des Signalpegels führen, kommt es bei dieser Methode häufig zur Überschätzung der Distanz, was bei dem vorliegenden Anwendungsfall ein Sicherheitsrisiko darstellt. Daher sollte diese Methode maximal als zusätzliche Absicherung, nicht aber als primäre Detektionsmethode verwendet werden.

Weitere Methoden zur passiven Lokalisierung basierend auf Transpondersignalen von Luftfahrzeugen sind beispielsweise auch die Funkpeilung mithilfe von gerichteten Antennen oder sogenannten Phased-Array-Antennen. Allerdings ist die Technologie, die für diese Methoden benötigt wird, vergleichsweise teuer, weshalb sie eher im militärischen Bereich anzutreffen ist.

**Die von dem hier vorgestellten BNK-System primär verwendete Lokalisierungsmethode ist die Multilateration.** Zur Verbesserung der Detektionsergebnisse wird, sofern verfügbar, noch zusätzlich ADS-B herangezogen. Eine Übersicht über die verfügbaren Lokalisierungsmethoden und deren grundlegenden Eigenschaften ist in Tabelle 1 bereitgestellt.

### 3 Anforderungen an das System

Die gesetzliche Anforderung an das BNK System werden insbesondere im Anhang 6 der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen (AVV) dargestellt.

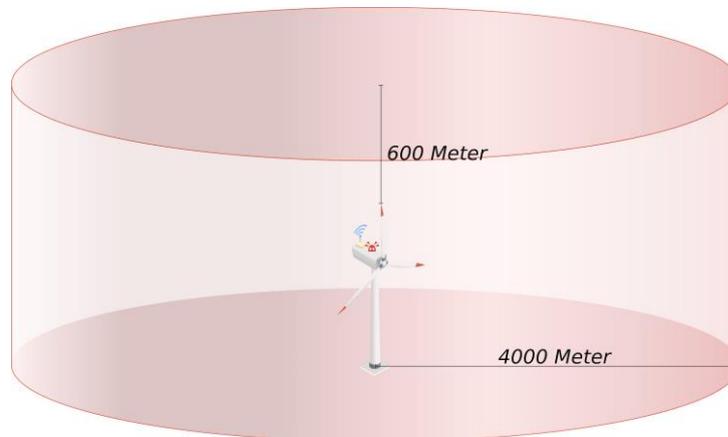


Abbildung 2: Wirkungsräum einer Windenergieanlage (nicht maßstabsgetreu)

So muss das BNK System sicherstellen, dass die Nachtkennzeichnung eingeschaltet ist, sobald sich ein Luftfahrzeug im Wirkungsräum einer Windenergieanlage (WEA) befindet. Wie in Abbildung 2 dargestellt, ist der Wirkungsräum dabei als der Luftraum definiert, der sich in einem Radius von 4000 Metern um die WEA bis zu einer Höhe von 600 Metern über der WEA erstreckt. Verliert das BNK System den Kontakt zu einem Luftfahrzeug innerhalb des Wirkungsräums, so muss die Nachtkennzeichnung aus Sicherheitsgründen noch mindestens 10 Minuten aktiviert bleiben. Bei der Entscheidung, ob ein Luftfahrzeug in den Wirkungsbereich eingetreten ist, muss im Entscheidungsprozess außer der letzten bekannten Position des Flugzeuges auch dessen Geschwindigkeit und die Häufigkeit von Aktualisierungen in Betracht gezogen werden.

Neben dem Eindringen eines Luftfahrzeuges in den Wirkungsräum, ist ein weiterer Aktivierungsgrund der Verlust der Systemintegrität. Kann das BNK System beispielsweise durch einen Ausfall keine zuverlässige Erfassung von Luftfahrzeugen im und um den Wirkungsräum mehr sicherstellen, so muss die Nachtkennzeichnung eingeschaltet werden. Aus dieser Anforderung folgt die Pflicht, die gesamte Systemintegrität kontinuierlich zu überwachen und entsprechende Sicherheitsmechanismen zur Aktivierung im Fehlerfall zu implementieren. Da das hier verwendete BNK System primär auf Multilateration basiert, beinhaltet die Systemintegrität auch die 4-fache Abdeckung des Wirkungsräums.

Der letzte in der AVV genannte Aktivierungsgrund ist die sogenannte externe Aktivierung. Hierzu muss das BNK System eine entsprechende Schnittstelle bereitstellen, über welche zum Beispiel die zuständige Luftfahrtbehörde oder die Bundeswehr in Ausnahmefällen eine permanente Aktivierung der Nachtkennzeichnung sicherstellen kann. Liegt eine solche externe Aktivierung vor, bleibt diese für mindestens 240 Minuten bestehen, kann aber auch vorzeitig durch explizite Deaktivierung wieder zurück in den bedarfsgesteuerten Modus versetzt werden.

#### 3.1 Zielerfassung

Das BNK System muss bei der Lokalisierung von Luftfahrzeugen auf der Basis von Transpondersignalen laut AVV mindestens Mode S All Call Antwortsignale (DF 11) und Mode A/C Signale verwenden. Sendet ein Ziel darüber hinaus auch ADS-B aus, so darf auf diese Informationen zurückgegriffen werden, wenn der Transponder eine entsprechende Mindestqualität<sup>3</sup> der Daten

<sup>3</sup> Surveillance Integrity Level (SIL)  $\geq 1$ , System Design Assurance (SDA)  $\geq 1$ , Navigational Accuracy Category - Position (NACp)  $\geq 7$

signalisiert. Des Weiteren müssen die Geschwindigkeit des Luftfahrzeugs und das Alter der Informationen bzw. die Häufigkeit der Aktualisierungen bei der Aktivierung einbezogen werden.

Da weder bei Mode A/C, noch bei Mode S DF 11 die Position des Luftfahrzeugs direkt übertragen wird, müssen BNK Systeme einen Mechanismus zur Positionsbestimmung verwenden, welcher nicht ausschließlich auf den Informationen, welche in den Transpondersignalen enthalten sind, aufbaut. Im Abschnitt Positionsbestimmungen wurden die verschiedenen Möglichkeiten zur Positionsbestimmung für diesen Fall bereits vorgestellt. Da die Signalstärke als primäre Lokalisierungsmethode zu unzuverlässig ist und die Mehrwegeausbreitung von Funksignalen die Anwendbarkeit der Funkpeilung nur eingeschränkt erlaubt **bleibt die Multilateration als einzige zuverlässige Methode zur Positionsbestimmung**. Das Alleinstellungsmerkmal im BNK Markt des Protea BNK Systems ist, dass es als einziges System auch die Multilateration für Mode A/C Signale durchführt. Dadurch kann auch beim ausschließlichen Vorhandensein von Mode A/C Signalen eine exakte Positionsbestimmung des Flugobjektes durchgeführt werden und damit die Einschaltzeiten minimiert werden.

### 3.2 Sicherheit und Integrität

Das System muss so konzipiert sein, dass die Gefahr einer Kollision eines Luftfahrzeugs mit einer WEA aufgrund einer Fehlfunktion des BNK Systems ausgeschlossen ist. Bei Sicherheits- und Fehlerbetrachtungen unterscheiden wir zwischen folgenden Klassen von Aktivierungszuständen:

- *Richtig negativ (richtige Deaktivierung)*: Die Nachtkennzeichnung ist deaktiviert und im Wirkungsraum befindet sich kein Luftfahrzeug, die Systemintegrität ist gewährleistet und es liegt keine externe Aktivierung vor.
- *Richtig positiv (richtige Aktivierung)*: Die Nachtkennzeichnung ist aktiviert und im Wirkungsraum befindet sich mindestens ein Luftfahrzeug oder die Systemintegrität kann nicht gewährleistet werden oder es liegt eine externe Aktivierung vor.
- *Falsch negativ (falsche Deaktivierung)*: Die Nachtkennzeichnung ist deaktiviert und im Wirkungsraum befindet sich ein Luftfahrzeug oder die Systemintegrität kann nicht gewährleistet werden oder es liegt eine externe Aktivierung vor.
- *Falsch positiv (falsche Aktivierung)*: Die Nachtkennzeichnung ist aktiviert und im Wirkungsraum befindet sich kein Luftfahrzeug, die Systemintegrität ist gewährleistet und es liegt keine externe Aktivierung vor.

Sicherheitskritische Folgen entstehen nur durch falsche Deaktivierungen. In solchen Fällen bleibt die BNK deaktiviert, obwohl sich zum Beispiel ein Luftfahrzeug im Wirkungsraum einer WEA befindet. Das Minimieren der Wahrscheinlichkeit solcher falschen Deaktivierungen hat daher höchste Priorität.

Das Minimieren falscher Aktivierungen (z.B. durch Fehlalarme) wird als wünschenswert eingestuft, da zu viele falsch Aktivierungen die Sinnhaftigkeit des Systems, d.h. die Akzeptanz in der Bevölkerung, beeinträchtigen. Dennoch darf unter keinen Umständen eine Minimierung der falschen Aktivierungen zu einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit falscher Deaktivierungen führen.

Umgesetzt wird die Minimierung falscher Deaktivierungen vor allem durch eine Vielzahl von Überwachungsmechanismen, welche Fehlfunktionen einzelner Systemkomponenten bzw. den Verlust der gesamtheitlichen Systemintegrität schnellstmöglich erkennen. Sobald die Systemintegrität nicht mehr garantiert werden kann, muss unverzüglich eine Aktivierung der Nachtkennzeichnung erfolgen. Dieses Vorgehen kann zwar zu einer Erhöhung falscher Aktivierungen führen, jedoch wird gleichzeitig eine falsche Deaktivierung verhindert, da eine solche bei aktivierter Befehlsgebung per Definition nicht möglich ist.

Ein weiterer Aspekt der Systemintegrität ist die Absicherung gegen Cyber-Angriffe (hier als Systemsicherheit bezeichnet) wie zum Beispiel das absichtliche Einschleusen irreführender Daten. Hierzu werden in einer Sicherheitsanalyse zunächst die Angriffsvektoren und potentielle Einfallstore identifiziert und davon ausgehend die betroffenen Schnittstellen entsprechend abgesichert.

## 4 Systemübersicht

### 4.1 Allgemeine Funktionsweise

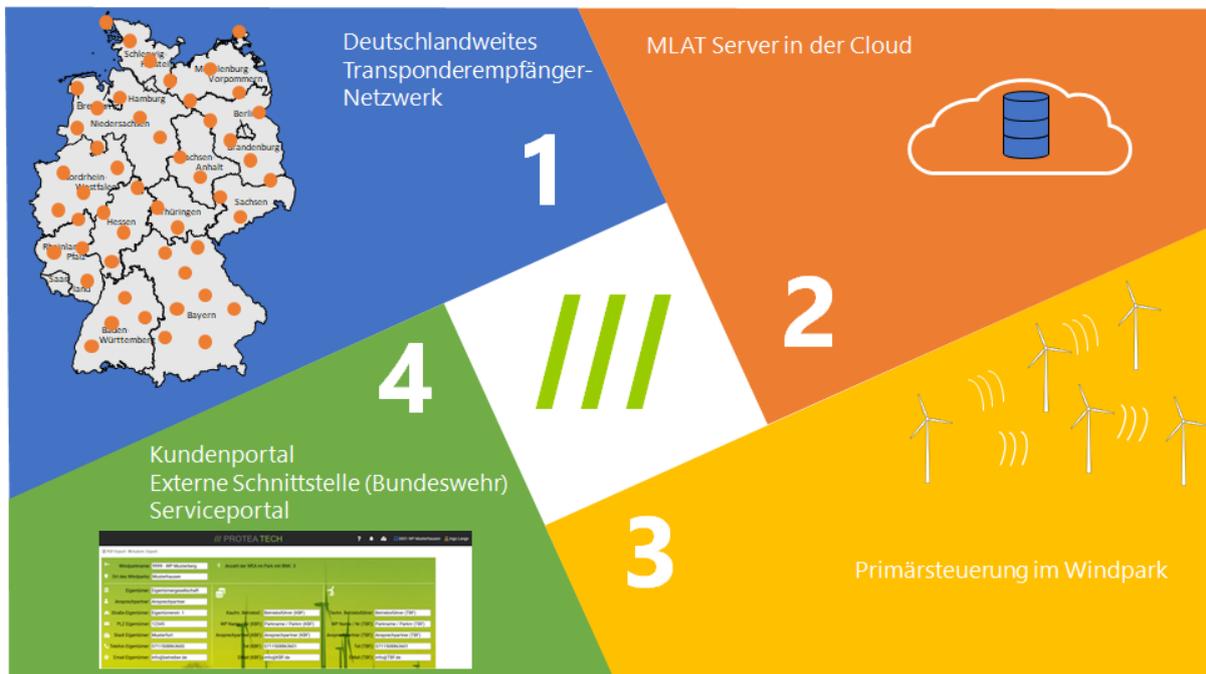


Abbildung 3: Übersicht der Systemkomponenten

Wie in Abbildung 3 dargestellt besteht das System aus vier Hauptkomponenten:

- K1. Ein Netzwerk von Empfängern (Sensoren) für Transpondersignale
- K2. Ein cloudbasierter Server für die Multilateration (MLAT) und Signalbereitstellung
- K3. Die BNK Steuerung im Windpark
- K4. Ein Kundenportal für die externe Aktivierung

Die Basis des hier vorgestellten BNK Systems bildet ein Netzwerk von Empfangsgeräten ("Sensoren") für Transpondersignale (K1). Jeder Sensor verfügt über eine Internetanbindung, über welche er kontinuierlich die empfangenen Transpondersignale an einen cloudbasierten MLAT Server (K2) sendet. Dieser analysiert alle vom Sensornetz empfangenen Transpondersignale und berechnet die genauen Positionen aller Luftfahrzeuge im Abdeckungsbereich. Der MLAT Server bzw. die sogenannte zentrale Datenverarbeitung (ZDV) verfügt über eine Datenbank aller vom BNK-System gesteuerten WEAs und überprüft in Echtzeit, ob ein Luftfahrzeug in den Wirkungsraum einer WEA eingedrungen ist. Wird ein solches Eindringen, eine Funktionsstörung oder eine unklare Datenlage festgestellt, benachrichtigt der MLAT Server die Primärsteuerung des betroffenen Windparks, welcher dann über ein lokales Netzwerk oder eine zentrale Schnittstelle die Nachtkennzeichnungen der WEAs aktiviert (K3). Neben einer Aktivierung der Nachtkennzeichnung durch den MLAT Server kann diese auch extern über das Kundenportal der Protea Tech (K4) manuell aktiviert werden.

## 4.2 Vernetzung der Komponenten

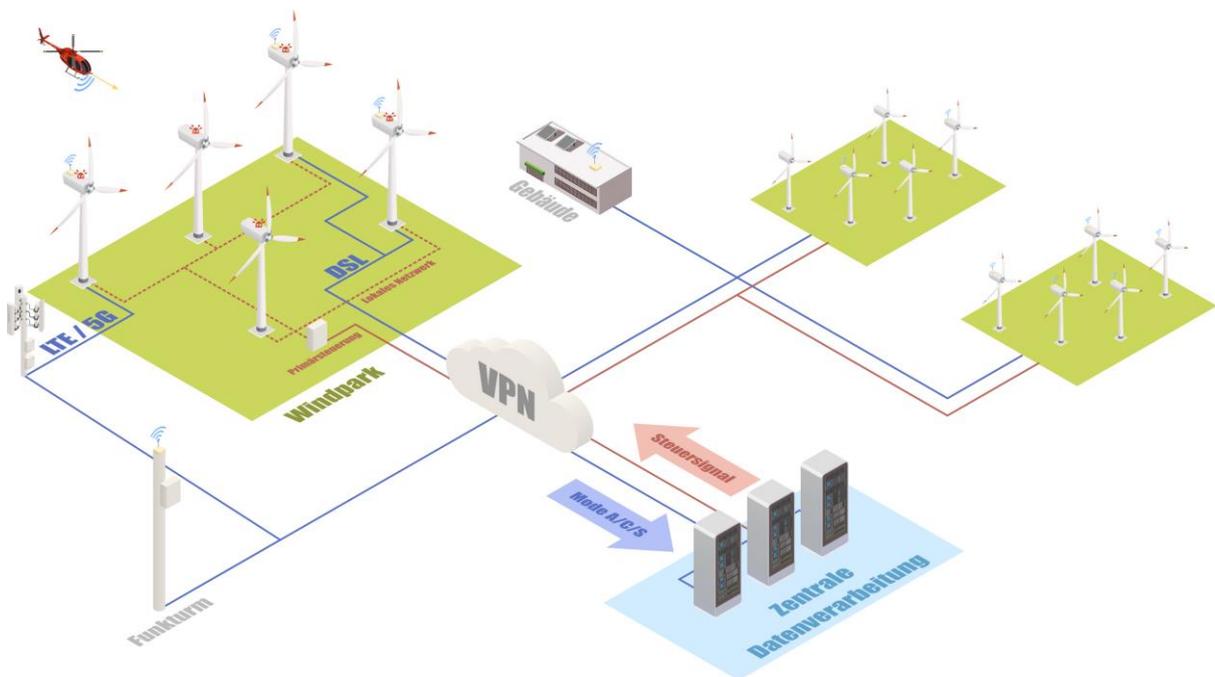


Abbildung 4: Übersicht BNK Netzwerk

Um die empfangenen Signaldaten an den MLAT Server übertragen zu können, verfügt jeder Sensor über eine Internetanbindung (blaue Linien in Abbildung 4). Je nach Verfügbarkeit am Standort wird für die Anbindung des Sensors an das Internet auf Festnetz, Mobilfunk oder eine Richtfunkverbindung zurückgegriffen. Bevorzugt wird die Anbindung über Mobilfunk hergestellt, sollte keine ausreichende Empfangsqualität am Standort vorliegen, wird auf die anderen zuvor genannten Anbindungsmöglichkeiten zurückgegriffen. Über diese Verbindung sendet der Sensor in Echtzeit alle empfangenen Mode A/C und Mode S Signale zum MLAT Server. Ein Signal besteht dabei aus den im Signal decodierten Bits und allen weiteren für das BNK System relevanten Informationen, wie dem exakten Zeitpunkt der Ankunft des Signals beim Sensor und seiner Signalstärke. Des Weiteren werden dem MLAT Server alle relevanten Informationen zur Überwachung des Zustands und der Integrität der Sensoren bereitgestellt. Das Datenaufkommen, welches zwischen Sensor zum MLAT Server auftritt, beträgt je nach Verkehrsaufkommen ca. 0,5MBit/s.

Die Sensoren können prinzipiell unabhängig von den Windparks in der näheren Umgebung installiert werden. Anzumerken ist an dieser Stelle jedoch, dass Windenergieanlagen aufgrund ihrer exponierten und häufig erhöhten Lage günstige Sensorstandorte darstellen und daher in den meisten Fällen als solche für das BNK System mitgenutzt werden. Aus Systemsicht werden das Sensornetz und die WEAs bzw. die Windparks allerdings als logisch getrennte Komponenten betrachtet. Neben WEAs werden beispielsweise auch Gebäude oder Funkmasten als Standorte für Sensoren verwendet. Ein Sensor ist somit nicht einem bestimmten Windpark oder Kunden zugeordnet und kann Daten für mehrere Windparks und Kunden gleichzeitig liefern.

Die Sensoren werden nicht in ihrer Empfangsreichweite künstlich beschnitten. Ein Sensor hat ca. 40km Bodensicht und ca. 500km Sicht bis auf Reiseverkehrsflughöhe.

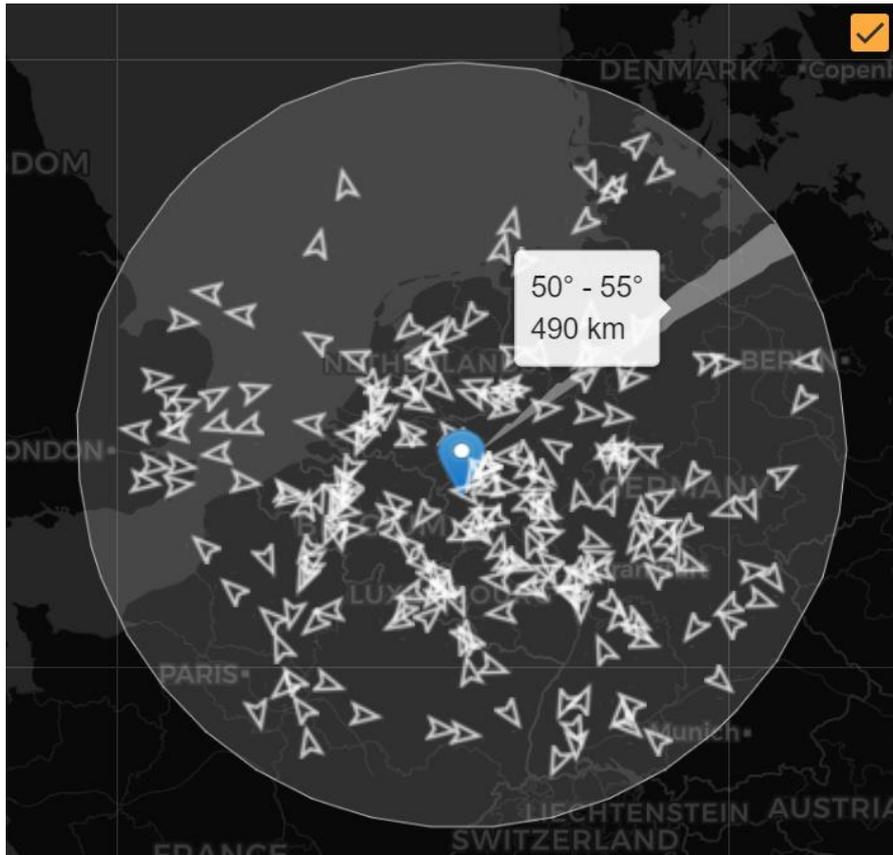


Abbildung 5: Empfangsreichweite eines Sensors (Transponderempfänger)

Die von den Sensoren empfangenen Daten werden alle zentral in einer cloudbasierten Serverfarm, der sogenannten zentralen Datenverarbeitung (ZDV), gesammelt und verarbeitet. Die Besonderheit dieses BNK Systems im Vergleich zu anderen Lösungen ist, dass die Daten aller Sensoren im Netzwerk in der gleichen ZDV gesammelt und verarbeitet werden und, wo sinnvoll, vermischt werden um Synergieeffekte benachbarter Sensoren auszunutzen. Die zentrale Datenverarbeitung ermittelt mithilfe der gesammelten Sensordaten und verschiedenen Verfahren kontinuierlich die Positionen aller Luftfahrzeuge, welche sich Empfangsbereich des Netzwerkes aufhalten.

Wird in der ZDV ein Eintritt eines Luftfahrzeugs in den Wirkungsraum einer WEA erkannt, wird unverzüglich ein Aktivierungssignal an die Primärsteuerung eines Windparks gesendet. Diese ist über ein lokales Netzwerk mit einer Sekundärsteuerung in jeder WEA des Windparks verbunden. Über diese Verbindung aktiviert sie beim Empfang eines Aktivierungssignals von der ZDV alle Nachtkennzeichnungen im Windpark.

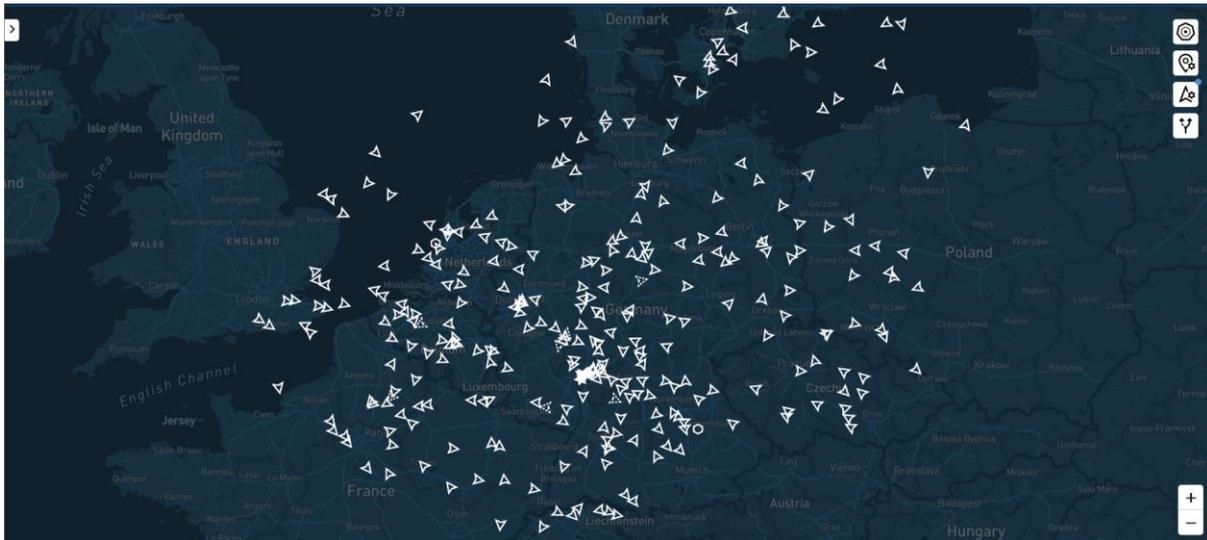


Abbildung 6: GRX Sensorplattform

Auf der GRX Sensorplattform in der ZDV laufen alle Transponderdaten zusammen und das Luftlagebild wird für den gesamten Luftraum gebildet. Der geofence – Dienst gleicht die Positionen der Luftfahrzeuge mit denen in der Datenbank hinterlegten Standorten der Windenergieanlagen ab, bei einer Annäherung im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben der AVV wird die Nachtkennzeichnung des betreffenden Windparks eingeschaltet.

Außer der ZDV kann auch das Kunde- und Serviceportal der Protea Tech im Falle einer externen Aktivierung ein Aktivierungssignal an die entsprechenden Primärsteuerungen der betroffenen Windparks senden. In diesem Fall bleibt die Nachtkennzeichnung gemäß der AVV für 240 Minuten aktiviert, kann aber auch explizit wieder vom Benutzer deaktiviert werden.

### 4.3 Sicherstellung der Systemintegrität

Ein Hauptaugenmerk bei der Entwicklung des vorliegenden BNK Systems lag auf der Sicherstellung der Systemintegrität. Damit ist vor allem das Vermeiden von falschen Deaktivierungen (siehe oben). Da diese sicherheitskritische Systemfunktion besonders wichtig ist, sind an allen Stellen, bis hin zur Sekundärsteuerung in der WEA, Überwachungsmechanismen implementiert, die eine Aktivierung der Nachtkennzeichnung im Fehlerfall sicherstellen. Die Überwachungsmechanismen basieren auf den Ergebnissen einer ausgiebigen Gefahrenanalyse, in welcher möglichst viele Fehlerszenarien durch Expertenbefragungen identifiziert wurden und die daraus resultierenden Mitigationsmaßnahmen im System implementiert wurden.

## 5 Wartung und Betrieb

### 5.1 Wartung

Bei der Inbetriebnahme und in einem Rhythmus von 4 Monaten wird eine Reihe von erweiterten Systemtests durchgeführt, welche die korrekte und uneingeschränkte Funktionalität des Systems überprüfen. Der Zeitraum von 4 Monaten wurde so gewählt, dass sichergestellt werden kann, dass im Falle einer Beeinträchtigung des BNK Systems die uneingeschränkte Funktion bis zum von der AVV geforderten 6 Monate Zyklus wiederhergestellt werden kann. Dadurch kann Betreibern ein unterbrechungsfreier Betrieb des BNK Systems bereitgestellt werden.

Im Folgenden werden die Tests, welche bei der erweiterten Systemprüfung durchgeführt werden, vorgestellt. Es bleibt anzumerken, dass die meisten Systemkomponenten schon durch die systemeigene permanente Überwachung der Systemintegrität abgedeckt sind. Die erweiterte Systemprüfung dient hauptsächlich als regelmäßige Überprüfung der Annahmen der permanenten Überwachungsfunktionen. Das Risiko für die Sicherheit ist auch für die Zeiträume vor und nach den erweiterten Tests durch die kontinuierliche Selbstüberwachung des Systems minimal.

Wird bei den kontinuierlichen Selbsttests oder bei der erweiterten Systemprüfung ein Mangel festgestellt, so wird dieser schnellstmöglich von Mitarbeitern bzw. Servicepartnern der Protea Tech beseitigt.

Als Ergebnis der erweiterten Systemtests wird den Betreibern der Windparks ein Testbericht über das Kundenportal zur Verfügung gestellt. Bei Bedarf kann dieser Bericht auch automatisiert per Email bereitgestellt werden.

#### 5.1.1 Ende-zu-Ende Aktivierungstest

Beim sogenannten Ende-zu-Ende Aktivierungstest werden alle Softwarekomponenten, die im Falle einer richtigen Aktivierung aktiv werden müssen, auf ihre korrekte Funktionsweise getestet. Dazu werden für den zu testenden Windpark künstlich generierte Daten in das System eingespeist, welche einen Einflug in den Wirkungsbereich einer WEA des Windparks imitieren.

Um diese künstlichen Testdaten später in den Protokollen von realen Daten unterscheiden zu können, wird bei diesem simulierten Testflug die Transponderadresse 0xfffff, welche auch in der Luftfahrt häufig für Tests eingesetzt wird, verwendet. Es sei an dieser Stelle explizit darauf hingewiesen, dass hier lediglich ein virtuelles Signal durch Einspeisen von künstlichen Daten verwendet wird. Das System sendet dabei *kein* Signal auf 1090 MHz aus.

Sollte es während des Tests zum Einflug eines realen Flugzeugs in den Wirkungsbereich kommen, so wird der Test umgehend abgebrochen und zu einem späteren Zeitpunkt wiederholt.

Um die Abdeckung des Tests zu maximieren, werden die simulierten Daten so früh wie möglich ins System eingespeist, d.h. in der Datenaufnahmeebene wo auch die Daten der Sensoren eingesammelt werden. Um die korrekte Funktion zu überprüfen, beobachtet die Testsoftware gleichzeitig, ob und wann das Detektionssystem ein Aktivierungssignal an die Primärsteuerung des Windparks sendet und ob die Primärsteuerung eine aktive Nachtkennzeichnung zurückmeldet.

Auch die Dauer der Aktivierung wird getestet. So werden bei diesem automatischen Test zum einen ein Einflug in den Wirkungsraum mit plötzlichem Signalabbruch innerhalb des Wirkungsraum getestet. In diesem Fall muss die Nachtkennzeichnung 10 Minuten aktiv bleiben. Nachdem sie nach mindestens 10 Minuten wieder deaktiviert wurde, simuliert die Testsoftware ein plötzliches Erscheinen des Flugzeugs im Windpark und einen darauffolgenden Ausflug. Dabei überprüft die Testsoftware ob die Nachtkennzeichnung nach dem Erscheinen des Luftfahrzeugs umgehend aktiviert wurde, aber auch ob sie nach dem Ausflug wieder erfolgreich deaktiviert wurde.

### 5.1.2 Überprüfung der Abdeckung

Grundlage der systemeigenen Selbstdiagnose und Integritätsprüfung dient eine Datenbank in welcher die Empfangsbereiche aller Sensoren abgespeichert sind. Diese werden in einer Analyse basierend auf einem 24-stündigen ADS-B Datensatz bestimmt. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die erwartete Abdeckung der realen Abdeckung entspricht und dabei alle Faktoren (Abschattungen, Antenne, usw.) berücksichtigt werden. Diese Informationen werden bei der kontinuierlichen Integritätsprüfung dazu verwendet die von MLAT benötigte Mehrfachabdeckung des Wirkungsraums zu überwachen.

Um signifikante Änderungen im Empfangsbereich eines Sensors, beispielsweise ausgelöst durch Abschattungen durch bauliche Änderungen in der näheren Umgebung der Antenne, zu detektieren, wird die Abdeckungsanalyse bei den erweiterten Systemtests wiederholt und mit dem vorherigen Ergebnis verglichen. Wird dabei eine Verkleinerung des Empfangsbereichs festgestellt, so schlägt der Test fehl und eine Untersuchung von Mitarbeitern der Protea Tech wird eingeleitet.

## 5.2 Betrieb

Der Betrieb und die Instandhaltung des BNK Systems wird von der Protea Tech in Zusammenarbeit mit Dienstleistern und Herstellern von Komponenten durchgeführt. Der Betrieb umfasst unter anderem folgende Aufgaben:

- Überprüfung von Fehlerberichten der Systemüberwachung
- Überwachung der Verfügbarkeit von Empfängern
- Fernwartung im Fehlerfall (z.B. Reset eines Geräts)
- Beauftragung eines Servicetechnikers, falls Fernwartung nicht erfolgreich

## 6 Zertifizierungen

Das Qualitätsmanagementsystem der Protea Tech ist durch den TÜV SÜD im Dezember 2021 nach ISO9001 zertifiziert worden. Weiterhin hat das Protea BNK System die Baumusterprüfung im März 2021 bei der benannten Stelle AviaCert erfolgreich abgeschlossen. Die entsprechenden Zertifikate sind im Anhang dieses Dokumentes zu finden.

## 7 Patentlizenz

Protea Tech hat für das Protea BNK System 2.0 die allgemein notwendigen Transponder BNK Patentlizenzabkommen mit Wobben Properties geschlossen.

## 8 Systembezogene Prüfkriterien

Die systembezogenen Prüfkriterien des Protea BNK Systems sind im Dokument *D7-BNK-Systemanforderungen*, das diesem Dokument als Anlage beigefügt ist, dargestellt. Anhand dieser kann entsprechend den Anforderungen der AVV im Zuge des Verfahrens bei der zuständigen Luftfahrtbehörde im Falle der §§ 12, 14 bis 17 LuftVG der Nachweis des Herstellers und/oder Anlagenbetreibers über die standortbezogene Erfüllung der Anforderungen auf Basis der Prüfkriterien nach Anhang 6, Nummer 2 erfolgen<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Vgl. AVV zur Kennzeichnung von Lufffahrthindernissen vom 24. April 2020, Anhang 6, Nummer 3

## 9 Weiterführende Dokumentation der Baumusterprüfung

ID	Titel	Inhalt
D1-BNK-Übersicht	Systemübersicht	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeine Darstellung des Systems und der beteiligten Unternehmen</li> </ul>
D2-BNK-MLAT	Sensornetz und Multilateration	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Darstellung der Sensorplattform</li> <li>• Darstellung der zentralen Datenverarbeitung</li> <li>• Genauigkeit der Multilateration</li> <li>• Systemlatenzen</li> <li>• Detektionswahrscheinlichkeit</li> <li>• Fehlererkennung (Systemintegrität)</li> <li>• Ereignisprotokollierung</li> <li>• Konfigurationsmanagement</li> <li>• Systemspezifische Prüfkriterien</li> </ul>
D3-BNK-Steuerung	BNK Steuerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Darstellung der Primär- und Sekundärsteuerungen im Windpark</li> <li>• Einschaltlogik in der WEA</li> <li>• Fehlererkennung (Systemintegrität)</li> <li>• Fehlerbehandlung</li> <li>• Ereignisprotokollierung</li> <li>• Konfigurationsmanagement</li> <li>• Systemspezifische Prüfkriterien</li> </ul>
D4-BNK-Gefahren	Risiko- und Gefahrenanalyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehleranalyse</li> </ul>
D5-BNK-Systemsicherheit	Systemsicherheit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheitsanalyse des Systems</li> </ul>
D6-BNK-Protokollierung	Protokollierungsformat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschreibung der Dateiformate der Ereignisprotokolle</li> </ul>
D7-BNK-Systemanforderungen	Anforderungen an das BNK System	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systembezogene Prüfkriterien</li> </ul>
D8-Analyse-ADSB-MLAT	Analysis: MLAT vs. ADS-B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datenanalyse bezüglich der Konformität der MLAT Lösung mit den Anforderungen der AVV</li> </ul>
D9-Update-Management	Update Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betrachtung der verschiedenen Varianten des Updates des BNK Systems mit Differenzierung zwischen Hard- und Software</li> </ul>